



**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO-SENSU
MESTRADO PROFISSIONAL EM EXERCÍCIO FÍSICO NA PROMOÇÃO DA SAÚDE**

VANESSA DA SILVA SIQUEIRA

**TREINAMENTO MUSCULAR RESPIRATÓRIO: UMA ABORDAGEM
TEÓRICO-PRÁTICA NO CONTEXTO DA PROMOÇÃO DA SAÚDE**

Londrina - Paraná
2018

VANESSA DA SILVA SIQUEIRA

**TREINAMENTO MUSCULAR RESPIRATÓRIO: UMA ABORDAGEM
TEÓRICO-PRÁTICA NO CONTEXTO DA PROMOÇÃO DA SAÚDE**

Trabalho de conclusão final de curso apresentado à Universidade Norte do Paraná, Unidade JD Piza, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre Profissional em Exercício Físico na Promoção da Saúde.

Orientador: Prof. Dr. Cosme Franklim Buzzachera

Londrina - Paraná

2018

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Dados Internacionais de catalogação na publicação (CIP)

**Universidade Pitágoras Unopar
Biblioteca CCBS/CCECA PIZA
Setor de Tratamento da Informação**

S618t

Siqueira, Vanessa da Silva

Treinamento muscular respiratório: uma abordagem teórico-prática no contexto da promoção da saúde. / Vanessa da Silva Siqueira. Londrina: [s.n], 2018.

78 f.

Trabalho de conclusão final (Mestrado Profissional em Exercício Físico na Promoção da Saúde).

Universidade Pitágoras Unopar.

Orientador: Prof. Dr. Cosme Franklim Buzzachera.

1- Treinamento muscular respiratório - Trabalho de conclusão do mestrado - UNOPAR 2- Guia prático 3- Promoção da saúde 4- Exercício físico 5- Sistema respiratório I- Buzzachera, Cosme Franklim; orient. II- Universidade Pitágoras Unopar.

CDD 613.7

Andressa Fernanda Matos Bonfim - CRB 9/1643

VANESSA DA SILVA SIQUEIRA

**TREINAMENTO MUSCULAR RESPIRATÓRIO: UMA ABORDAGEM TEÓRICO-
PRÁTICA NO CONTEXTO DA PROMOÇÃO DA SAÚDE**

Trabalho de conclusão final de curso apresentado à Universidade Norte do Paraná, Unidade JD Piza, como requisito para a obtenção do título de Mestre Profissional em Exercício Físico na Promoção da Saúde, conferido pela Banca Examinadora:

Prof. Dr. Cosme Franklim Buzzachera
Universidade Norte do Paraná
(Orientador)

Prof. Dr. Andreo Fernando Aguiar
Universidade Norte do Paraná
(Membro Interno)

Prof. Dr. Leandro Ricardo Altimari
Universidade Estadual de Londrina
(Membro Externo)

Prof. Dr. Dartagnan Pinto Guedes
Universidade Norte do Paraná
(Coordenador do Curso)

Londrina, 01 de março de 2018.

DEDICATÓRIA

Sou grata a Deus, que me ajudou em cada etapa desse trabalho, que com sua infinita sabedoria foi um importante guia na minha trajetória. Dedico aos meus pais que não mediram esforços para me apoiar.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente, aos meus pais e minha irmã por terem me ajudado tanto nessa etapa, sei que eles não mediram esforços para que este sonho se realizasse, sem a compreensão, ajuda e confiança deles nada disso seria possível.

Ao meu esposo, por ter me incentivado a percorrer este caminho, por compartilhar angústias e dúvidas estendendo sua mão amiga em momentos difíceis.

Agradeço a todos os professores do programa de Mestrado, especialmente ao Prof. Dr. Cosme Franklim Buzzachera, pela sua orientação, que me deu todo o suporte com suas correções, incentivo e paciência.

Aos amigos do mestrado que compartilharam comigo esses momentos de aprendizado. Assim como, aos meus pacientes e alunos do Studio Reabilitar dos quais obtive compreensão e apoio constante nesta etapa.

E enfim, a todos que contribuíram para a realização deste trabalho, seja de forma direta ou indireta, fica registrado aqui, o meu muito obrigado!

SIQUEIRA, Vanessa da Silva. **Treinamento muscular respiratório: Uma abordagem teórico-prática no contexto da promoção da saúde** 70f. Trabalho de Conclusão Final de Curso. Mestrado Profissional em Exercício Físico na Promoção da Saúde. Universidade Norte do Paraná, Londrina, 2018.

RESUMO

O propósito do presente relatório técnico foi elaborar um Guia Prático sobre treinamento muscular respiratório no âmbito do exercício físico na promoção da saúde. A proposta é direcionada para profissionais da saúde que prestam serviços de avaliação, prescrição, e e monitoração de exercício físico, proporcionando, por conseguinte, uma informação atualizada e de fácil aplicabilidade sobre o papel do treinamento da musculatura respiratória no condicionamento físico. Especificamente em referência ao Guia Prático, dividiu-se a elaboração do material em três etapas distintas: revisão do conteúdo, definição de tópicos a serem abordados no material, e processo de criação, diagramação e arte, realizada por um profissional de design gráfico. Após aprovação pela banca examinadora, a versão final do Guia Prático elaborado neste relatório técnico será submetida a avaliação editorial, essencial no pedido do International Standard Book Number (ISBN), com a divulgação do material no website www.cardiorespiratoryrg.com. Para atender as peculiaridades do curso de Mestrado Profissional em Exercício Físico na Promoção da Saúde da Universidade Norte do Paraná, um manuscrito científico será submetido a Revista Brasileira de Medicina do Esporte (Webqualis A2).

Palavras-chave: Guia Prático, Promoção da Saúde, Exercício Físico, Sistema Respiratório.

SIQUEIRA, Vanessa da Silva. **Respiratory muscle training: A theoretical practical approach for the health promotion.** 70p. Technical Report. Master in Exercise on Health Promotion. North University of Paraná, Londrina, 2018.

ABSTRACT

The aim of this technical report was to create a technical guide on respiratory muscle training for use during exercise in healthy and unhealthy populations. This technical report was created to support sport and health professionals, who are responsible for assessment and training prescriptions, and can stimulate more evidence-based decisions and the use of up-to-date information by these professionals. With respect to this practical guide, their development occurred in three parts: literature review of the content, definition of the topics of interest, and final creation by an art designer. After the approval by the examination committee, the final version of the practical guide developed by this technical report will be submitted to approval for an editorial committee, crucial for the solicitation of the International Standard Book Number (ISBN). A research manuscript entitled 'Effects of respiratory muscle warm up on inspiratory muscle fatigue, exertional dyspnea and performance during incremental ramp exercise in young adults', to be submitted to Brazilian Journal of Sports Medicine (Webqualis A2), was inserted to reinforce the more scientific approach of this report. This technical report, which includes development of a practical guide and production of a scientific manuscript, is in agreement with the assumptions and rules proposed by the course of Professional Master's in Exercise in Health Promotion.

Key Words: Practical guide, Health Promotion, Exercise, Respiratory system.

SUMÁRIO

RESUMO	iii
ABSTRACT	iv
1. INTRODUÇÃO	1
2. JUSTIFICATIVA	3
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	4
3.1 Conceitos Introdutórios da anatomia e fisiologia respiratória	5
3.2 Conceitos Introdutórios da fisiologia respiratória durante exercício físico.....	7
3.3 Conceitos Introdutórios do treinamento muscular respiratório	17
3.4 Usabilidade do treinamento muscular respiratório	19
4. METODOLOGIA	22
4.1 Desenvolvimento do produto técnico	22
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24
APÊNDICE 1: Guia Prático	35
APÊNDICE 2: Manuscrito Científico	53
APÊNDICE 3: Resumo Científico	56

1 INTRODUÇÃO

Treinamento muscular respiratório pode ser definido como um método de treino capaz de melhorar a funcionalidade da musculatura respiratória através de exercícios específicos. O método consiste de diferentes tipos de exercícios respiratórios, usados com o escopo de aumentar a força e a resistência muscular respiratória (McConnell, 2011). Originalmente, o treinamento da musculatura respiratória foi criado apenas para ser rotineiramente aplicado em adultos portadores de distúrbios crônicos, como asma, bronquite, enfisema, doença pulmonar obstrutiva crônica, entre outros (Crisafulli, et al., 2007). De fato, o treinamento muscular respiratório parece ser capaz de minimizar a reduzida força e resistência da musculatura respiratória nestes pacientes, diminuindo, por conseguinte, a cronicidade da doença e seus numerosos efeitos adversos, como dispneia, hipercapnia, e reduzida tolerância ao esforço físico (Gosselink, et al., 2000). As inúmeras adaptações orgânicas causadas pelo treinamento muscular respiratório podem, por consequência, afetar positivamente a capacidade para realizar atividades cotidianas e a qualidade de vida destes pacientes (Lotters, et al., 2002). Devido aos promissores achados preliminares, percebeu-se um aumento no número de estudos que recomendam a aplicação do treinamento muscular respiratório na diminuição da cronicidade de diferentes distúrbios orgânicos, não apenas em adultos, mas também em crianças e adolescentes (Human, et al, 2017) e idosos (Mills, et al, 2015). Dessa maneira, verificou-se a necessidade eminente da disseminação de uma informação baseada em evidências e atualizada sobre a temática (Illi, et al, 2012), auxiliando, por conseguinte, profissionais que prestam serviços no âmbito da recuperação da saúde.

Atualmente, o treinamento da musculatura respiratória tem sido rotineiramente aplicado em adultos saudáveis, no contexto do desempenho esportivo (McConnell e

Romer, 2004; Illi, et al., 2012) e da promoção da saúde (McConnell, et al., 2005). De fato, tradicionalmente, o sistema respiratório foi considerado irrelevante na regulação do transporte e utilização de oxigênio pela musculatura ativa em humanos saudáveis (Dempsey, 1986). Entretanto, atualmente, sabe-se que mecanismos regulatórios da respiração podem limitar disponibilidade e utilização de oxigênio na musculatura ativa, reduzindo, por conseguinte, a capacidade para realizar exercício físico. Tal redução pode ser causada por limitações diretas na atividade muscular respiratória (Babcock, et al., 2002) ou indiretas no fluxo sanguíneo e fadiga muscular periférica (Sheel, et al., 2001). De fato, em adultos saudáveis, a musculatura respiratória consome ~8-10% do consumo de oxigênio total do organismo (Aaron, et al, 1992), requer 14-16% do débito cardíaco máximo (Harms, et al., 1998), sendo ainda susceptível a fadiga (Johnson, et al, 1993; Cross, et al., 2010) durante exercício físico severo. Atenuar a sobrecarga dos músculos respiratórios durante exercício físico severo através a ventilação mecânica, por exemplo, resulta no retardo da fadiga da musculatura diafragmática (Babcock, et al., 2002), devido a um maior fluxo sanguíneo microvascular e melhor disponibilidade e utilização de oxigênio pelos músculos ativos em humanos saudáveis (Harms, et al., 1998). Ainda, respostas dinâmicas do consumo de oxigênio pulmonar e tolerância ao exercício físico foram melhoradas com a atenuação da atividade muscular respiratória em adultos saudáveis (Johnson, et al., 1993; Cross, et al., 2010). Coletivamente, tais achados reforçam a ideia que intervenções capazes de evitar, ou mesmo retardar, a fadiga muscular respiratória durante esforço físico, como a ventilação mecânica ou o treinamento muscular respiratório, promovem efeitos benéficos na saúde respiratória e qualidade de vida de adultos aparentemente saudáveis ou portadores de distúrbios crônicos (Volianitis, et al., 2001; McEntire, et al., 2016; Charususin, et al., 2017).

A presente proposta de relatório técnico foi criada neste contexto, pautando-se na elaboração de um guia prático sobre treinamento muscular respiratório no âmbito

do exercício físico na promoção e recuperação da saúde. A presente proposta poderá ser direcionada aos profissionais prestadores de serviços de prescrição e monitoração de exercício físico, auxiliando-os, por conseguinte, com uma informação atualizada e de fácil aplicabilidade para sua tomada de decisão quanto ao uso – e como usar – do treinamento muscular respiratório. Em particular, a presente proposta abordará tópicos referentes aos aspectos anatômicos e funcionais da mecânica da respiração – e seus determinantes -, adaptações orgânicas causadas pelo treinamento da musculatura respiratória – e sua associação com a capacidade para realizar exercício físico -, e recomendações úteis para a sua aplicação prática em adultos, de maneira eficiente e segura, baseada em evidências.

2 JUSTIFICATIVA

A presente proposta tem como escopo primário a elaboração de um guia prático sobre treinamento muscular respiratório no contexto do exercício físico na recuperação e na promoção da saúde. Direcionada aos profissionais que prestam serviços de avaliação, prescrição, e monitoração de exercício físico, o material poderá fornecer informações acuradas, baseadas em evidências científicas, sobre potenciais efeitos do treinamento muscular respiratório - e sua associação com a capacidade de realizar exercício físico e qualidade de vida – em adultos saudáveis e portadores de distúrbios orgânicos. Usando de modo adequado as informações contidas neste material, profissionais da área da saúde poderão otimizar suas tomadas de decisão referentes ao uso – ou não - do treinamento muscular respiratório por seus clientes em um programa de exercício físico.

Sob uma perspectiva teórica, a proposta preconiza fornecer uma maior compreensão sobre a relevância do treinamento da musculatura respiratória por participantes de um programa de exercício físico. Preconiza-se que a presente proposta possa servir ainda para acadêmicos e pesquisadores no delineamento de suas investigações científicas futuras examinando os efeitos do treinamento muscular respiratório sobre numerosas respostas fisiológicas em condições de repouso e esforço físico.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica do relatório técnico refere-se inicialmente aos mecanismos anatômicos e funcionais reguladores da respiração, determinantes da capacidade para realizar exercício físico, diretamente por limitações na atividade da musculatura respiratória ou indiretamente por efeitos no fluxo sanguíneo local e fadiga muscular periférica. Em seguida, uma breve descrição da fadiga dos mecanismos regulatórios da respiração - e seus fatores determinantes – será conduzida, reforçando a sua notabilidade no contexto do esforço físico. Estratégias elaboradas para minimizar limitações respiratórias no exercício físico serão abordadas, com particular ênfase no treinamento muscular respiratório. Conceitos referentes a aplicação, usabilidade, e segurança do treinamento da musculatura respiratória serão destacados. Nota-se que a presente fundamentação teórica enfatiza adultos saudáveis, exercitando-se em uma condição de normoxia normobárica; todavia, considerações notórias sobre potenciais implicações clínicas desta promissora estratégia em pacientes portadores de distúrbios orgânicos, como doença pulmonar obstrutiva crônica, serão feitas.

3.1 Conceitos introdutórios da anatomia e fisiologia da respiração

A respiração é um fenômeno indispensável a sobrevivência humana, consistindo, de modo básico, na absorção de oxigênio e eliminação de gás carbônico, fornecendo, assim, produtos essenciais aos tecidos a fim de nutri-los. Estruturalmente, o sistema respiratório divide-se em vias aéreas superiores e inferiores e conecta-se ao sistema circulatório para o processo de trocas gasosas. Cabe destacar, contudo, que o trato respiratório superior é formado por órgãos localizados fora da caixa torácica, incluindo nariz externo, cavidade nasal, faringe, laringe e parte superior da traqueia, enquanto o trato respiratório inferior consiste de órgãos localizados na cavidade torácica, incluindo parte inferior da traqueia, pulmões, brônquios, bronquíolos, e alvéolos, reconhecidos como a unidade funcional do sistema respiratório (McConnell, 2011).

A entrada de ar ocorre através da contração ativa dos músculos respiratórios. Durante a inspiração, o diafragma, notável músculo localizado abaixo dos pulmões, expande os pulmões para baixo, juntamente com os músculos intercostais localizados entre as costelas, expandindo, por conseguinte, a caixa torácica. Na expiração, por outro lado, a saída de ar dos pulmões ocorre via contração passiva dos músculos respiratórios, ou seja, o retorno dos pulmões graças a sua capacidade elástica. Todo esse processo ocorre automaticamente, sendo comandado pelo centro de controle da respiração na região bulbar, o qual envia os comandos baseados nos diversos *sensores* espalhados pelo corpo humano. De forma consciente, pode-se alterar o padrão respiratório, por exemplo, durante exercício físico, onde o corpo necessita de maior fluxo ventilatório, ou em situações cotidianas, como mudanças emocionais – por exemplo, ansiedade, susto, medo, entre outros (West, 2013).

A atividade da musculatura respiratória cabe ser salientada. A ação respiratória ocorre devido a um arranjo complexo de toda a musculatura ligada à caixa torácica. De fato, músculos inspiratórios, incluindo diafragma e intercostais – em certos casos, peitoral menor e maior, serrátil anterior, escaleno e esternocleidomastoideo -, são responsáveis pela expansão da cavidade torácica. Por sua vez, em certos casos, como na expiração forçada, músculos expiratórios regulam a compressão da cavidade torácica para gerar a saída de ar ao meio externo. A musculatura expiratória parece incluir músculos da parede abdominal, como transverso, oblíquos internos e externos, quadrado lombar, latíssimo do dorso, além do serrátil posterior inferior. Cabe salientar que a estrutura da musculatura esquelética é similar aos outros músculos esqueléticos do corpo; apesar disto, a atividade do músculo diafragma tem ganho destaque como o principal regulador da mecânica respiratória na cavidade torácica (West, 2013).

3.2 Conceitos introdutórios da fisiologia respiratória durante exercício físico

Em um homem jovem, saudável, o consumo de oxigênio ($\dot{V}O_2$) em repouso é de cerca de 250 mL.min⁻¹ (Howley e Bassett Jr, 2000). Entretanto, no início do exercício físico, a ventilação pulmonar sofre um aumento abrupto, seguida por um aumento gradual de acordo com as demandas metabólicas do esforço. O aumento da ventilação pulmonar pode ser atribuído a combinação de fatores, como um aumento no volume corrente e frequência respiratória, podendo corresponder ao aumento da utilização de oxigênio e produção de dióxido de carbono, o qual deve ser removido do corpo humano (West, 2013).

O volume de reserva inspiratória atua como um reservatório de volume pulmonar extra quando há uma demanda exacerbada de oxigênio e exalação de dióxido de carbono durante exercício físico. Com o aumento do volume corrente, obviamente, o volume de reserva expiratória diminui, devido a necessidade de expirar a quantidade crescente de dióxido de carbono dos pulmões em comparação a situação de repouso. Contudo, há um limite na taxa de expiração humana, pois uma pequena quantidade de ar deve permanecer nos pulmões para mantê-los inflado, comumente chamado de volume pulmonar residual, o qual permanece praticamente inalterado durante esforço físico (West, 2014).

Com o aumento da carga de trabalho durante esforço físico, a utilização de oxigênio aumenta linearmente, sendo controlado rigorosamente no tronco cerebral (West 2013). Os coprodutos metabólicos do exercício físico se acumulam como resultado final da respiração celular, incluindo o dióxido de carbono. Portanto, a frequência respiratória deve ser aumentada. De fato, a frequência respiratória pode permanecer elevada após 1-2 horas de exercício físico prolongado. Cabe destacar que assim como a frequência respiratória, a utilização de oxigênio também possui um limite superior, denominado consumo máximo de oxigênio ($\dot{V}O_{2max}$) (Howley e Bassett Jr, 2000). Obviamente, todo o processo de aumento da frequência respiratória e ventilação pulmonar, assim como do consumo de oxigênio, depende, ultimamente, de informações geradas na base do cérebro. Assim, devido ao seu caráter complexo e extenso, recomenda-se ao leitor o trabalho escrito por John West (2013).

3.2.1 Mecanismos regulatórios da respiração durante exercício físico

A função dos mecanismos regulatórios da respiração durante exercício físico é controlar a ventilação alveolar em conformidade com as demandas metabólicas do organismo, de modo que o gradiente de pressão de oxigênio entre o gás alveolar e o sangue capilar e o equilíbrio ácido básico sejam mantidos em níveis estáveis. Todavia, em cargas de trabalho capazes de promover acidose metabólica, verifica-se a ocorrência de mecanismos compensatórios de hiperventilação para atenuar a redução do pH arterial e prevenir a hipoxemia. Além da manutenção da homeostase ácido básico e do gradiente de pressão de oxigênio entre o gás alveolar e sangue capilar, mecanismos regulatórios da respiração e da ventilação devem ser ajustados finamente para tornar o trabalho da musculatura respiratória minimizado (Romer e Polkey, 2008). De fato, em humanos saudáveis, as demandas ventilatórias são totalmente supridas, pois os músculos respiratórios são organizados, em estrutura e função, para atender as necessidades ventilatórias elevadas causadas pelo exercício físico e a regulação neural da respiração é otimizada (Seals, et al., 1990). Conforme previamente mencionado, o músculo diafragma, por exemplo, caracteriza-se por sua capacidade oxidativa elevada, curta distância de difusão de oxigênio entre capilar e mitocôndria, e uma velocidade intermediária de encurtamento das fibras musculares (Mizuno, et al., 1991). Ainda, com o aumento progressivo das cargas de trabalho durante exercício físico, a ativação dos músculos expiratórios, na ausência de limitações de fluxo expiratório, reduz o volume pulmonar expiratório final abaixo dos níveis basais (Henke, et al., 1988), contribuindo, por conseguinte, de três maneiras no trabalho da musculatura inspiratória. Primeiro, o volume pulmonar expiratório final reduzido causa um aumento no volume corrente na porção mais linear do diagrama volume vs. pressão do sistema respiratório, de modo que a complacência pulmonar permanece alta (Rahn, et al., 1946). Segundo, o volume

pulmonar expiratório final reduzido indica que o diafragma é alongado, permitindo o músculo atuar próximo de seu comprimento máximo para a geração de força (Smith, et al., 1987). Por fim, o volume pulmonar expiratório final reduzido permite ainda o armazenamento de energia elástica na estrutura torácica e abdominal na expiração, sendo inclusive usada no processo inspiratório subsequente (Ainsworth, et al., 1989), embora seja possível um papel central do retorno passivo do diafragma na inspiração (Grassino, et al., 1981). Cabe notar ainda que os músculos acessórios são recrutados progressivamente de acordo com o aumento da demanda ventilatória no exercício físico, suportando assim a hiperpneia causada pelo esforço (Aliverti, et al., 1997). As características fisiológicas peculiares da musculatura respiratória, combinadas com a regulação neural fina da respiração, sugerem que a capacidade destes músculos para gerar pressão comumente excede as suas necessidades oriundas do esforço físico. De fato, evidências sugerem que em adultos saudáveis, porém destreinados, as pressões geradas pela musculatura expiratória durante exercício físico máximo encontram-se dentro dos limites superiores de produção efetiva de pressão, enquanto as pressões geradas pela musculatura inspiratória durante exercício físico máximo são de ~40-60% da capacidade dinâmica máxima (Johnson, et al., 1993). Por fim, as demandas metabólicas dos músculos respiratórios são relativamente baixas, com o custo de oxigênio da respiração no exercício físico máximo sendo, em média, ~8-10% do consumo total de oxigênio do organismo (Aaron, et al., 1992).

Adultos treinados para provas de resistência exercitando-se em tarefas com demandas metabólicas e ventilatórias altas podem, inversamente, igualar ou mesmo exceder a capacidade dos mecanismos regulatórios da respiração. De fato, quando a intensidade do esforço e a ventilação aumentam, as vias aéreas sofrem um processo de compressão dinâmica durante a expiração, limitando o fluxo, e a ventilação pulmonar expiratória final é forçada para cima de modo que o fluxo seja

aumentado um pouco mais (Holm, et al., 2004). Além disso, em volumes pulmonares maiores, a musculatura inspiratória deve superar a energia elástica oriunda da estrutura torácica, abdominal e pulmonar (Milic-Emili, 1960). Por fim, respirar em um volume pulmonar maior significa que a musculatura inspiratória ativada é menor, incluindo uma reduzida capacidade de geração de força (Agostini, et al., 1960). De fato, adultos treinados para provas de resistência exercitando-se na sua capacidade máxima podem aumentar a pressão expiratória para níveis superiores a pressão dinâmica máxima, onde o fluxo torna-se limitado, enquanto a pressão muscular inspiratória dinâmica máxima pode ser elevada até ~90% de sua capacidade ou mais (Johnson, et al., 1992). Logicamente, para suprir tais necessidades ventilatórias, a musculatura respiratória requer um fluxo sanguíneo e suprimento de oxigênio substancial. Dados de atletas de elite treinados em provas de resistência mostram que próximo de 16% do consumo máximo de oxigênio e do débito cardíaco máximo é devotado a musculatura inspiratória e expiratória durante exercício físico máximo (Aaron, et al., 1992).

3.2.2 Fadiga dos mecanismos regulatórios da respiração durante exercício físico

Fadiga muscular é definida como uma condição de perda na capacidade muscular para desenvolver força e/ou velocidade, resultado de uma maior atividade muscular que se torna reversível pelo repouso (Allen, et al., 2008). Fadiga é evidente através da redução na produção de força relativa aos valores basais, sendo a força produzida determinada, de modo objetivo, pela estimulação elétrica ou magnética de nervos motores para os músculos em questão, usando uma ou mais frequências (Romer e Polkey, 2008). Em comparação com a musculatura de membros inferiores, a avaliação objetiva da fadiga do diafragma é complexa, pois ambos, músculo e nervos motores,

são inacessíveis. A geração de força pelo músculo (pressão transdiafragmática), por conseguinte, é medida pela diferença entre pressões gástrica e esofágica induzidas pela estimulação de ambos os nervos frênicos (Mills, et al., 1996; Polkey, et al., 2000). Para os músculos abdominais, a força produzida é medida pela resposta da pressão gástrica por estimulação magnética das raízes do nervo torácico (Kyroussis, et al., 1996). Para a estimulação nervosa proporcionar medidas válidas de fadiga muscular respiratória, controlar diversas fontes de erro é fundamental, incluindo a estimulação supramáxima (Davis e White, 1982), condição isovolumétrica (Smith, et al., 1987), potenciação pós-ativação (Mador e Acevedo, 1991), e complacência abdominal (Man, et al., 2002).

A aplicação recente da estimulação nervosa para determinar respiração resistida ou hiperpneia voluntária mostrou que a fadiga pode ser induzida no diafragma humano (Moxham, et al., 1981) assim como na musculatura abdominal (Kyroussis et al 1996). A estimulação nervosa tem sido ainda usada para demonstrar que o exercício físico prolongado pode induzir a fadiga dos músculos diafragma (Babcock, et al., 1995; Babcock, et al., 2002) e abdominais (Taylor, et al., 2006). Em adultos treinados em provas de resistência, exercitando-se em intensidades próximas a 80-85% $\dot{V}O_{2max}$, reduções de 15-30% na pressão transdiafragmática via estímulo de nervos frênicos foram consistentemente notadas 10 min após exercício físico, não retornando aos seus valores basais após 1-2 horas de repouso (Babcock, et al., 1995). A pressão transdiafragmática, de modo interessante, pouco se modificou com a estimulação nervosa durante teste de exercício físico com cargas progressivas até a exaustão volitiva, mas sim durante testes de curta duração (Romer, et al., 2006), sugerindo assim que não apenas a intensidade, mas também o prolongamento do esforço é associado com a fadiga do diafragma. Um estudo anterior (Taylor, et al., 2006) sugere ainda uma redução de 15-25% na pressão gástrica por estimulação

nervosa magnética em cargas de trabalho superiores a 90% $\dot{V}O_{2max}$, indicando que o esforço físico máximo pode também induzir fadiga muscular abdominal.

3.2.3 Determinantes da fadiga de mecanismos regulatórios da respiração no exercício físico

A principal causa da fadiga muscular respiratória induzida pelo esforço físico refere-se ao trabalho excessivo da musculatura respiratória durante exercício físico severo. De fato, evidências sugerem que a fadiga diafragmática foi evitada quando o trabalho da musculatura durante exercício físico foi reduzido em 50% via uso de ventilador mecânico (Babcock, et al., 2002). Outros fatores, além do trabalho da musculatura respiratória, também são responsáveis pela fadiga muscular respiratória induzida pelo exercício físico, pois a fadiga parece não ocorrer quando um trabalho diafragmático de duração e intensidade similar ao esforço físico foi simulado (Babcock, et al., 1995). Uma provável explicação para o menor limiar de fadiga do diafragma para produzir força durante esforço físico refere-se ao fato que, durante repouso, uma porção substancial do débito cardíaco máximo é devotado a musculatura diafragmática, enquanto que no exercício físico, o diafragma irá competir pelo trabalho do débito cardíaco com a musculatura locomotora (Harms, et al., 1998). Um fluxo sanguíneo menor para o diafragma promove um transporte de oxigênio inadequado, aumentando, por conseguinte, a probabilidade de fadiga muscular.

Neste contexto, pode-se considerar que o surgimento da fadiga diafragmática com o exercício físico se associa com a magnitude do trabalho muscular diafragmático e seu suprimento sanguíneo. Em outras palavras, necessita-se de um menor trabalho

diafragmático para causar fadiga quando o fluxo sanguíneo é menor. Em humanos, um desequilíbrio na relação entre produção de força muscular vs fluxo sanguíneo ou transporte de oxigênio ao diafragma que favorece a fadiga, parece ocorrer de modo mais consistente quando a intensidade de um esforço prolongado necessita de uma intensidade $\sim 80\text{-}85\%$ $\text{VO}_{2\text{max}}$ (Johnson, et al., 1993) ou saturação de oxigênio arterial inferior a $\sim 85\%$ (Babcock, et al., 1995).

3.2.4 Consequências funcionais da fadiga de mecanismos regulatórios da respiração no exercício físico

Numerosas abordagens foram usadas para determinar se a fadiga dos mecanismos regulatórios da respiração afeta a tolerância ao exercício físico. Uma abordagem recente é pré-fadigar a musculatura respiratória em repouso e assim determinar os efeitos sobre a tolerância ao exercício físico. A fadiga da musculatura inspiratória ou expiratória pode ser gerada via sobrecarga, enquanto a fadiga muscular respiratória pode ser gerada via hiperpneia voluntária (Romer e Polkey, 2008). Estudos usando procedimentos de pré-fadiga tem demonstrado efeitos negativos (Mador e Acevedo, 1991; Martin, et al., 1982) ou nulos (Dodd, et al., 1989) na capacidade de realizar exercício físico vigoroso subsequente. Contudo, problemas metodológicos comuns em tais estudos foram a falta de avaliação da fadiga muscular respiratória (Martin, et al., 1982; Dodd, et al., 1989) ou quantificação objetiva por técnicas de estimulação nervosa (Mador e Acevedo, 1991). Pode-se especular, portanto, que alguns estudos podem ter falhado para induzir níveis significantes de fadiga muscular respiratória previamente ao esforço físico ou mesmo ter superestimado um nível de fadiga normal em resposta ao exercício físico. Uma limitação adicional refere-se ao fato que é impossível induzir pré-fadiga sem o conhecimento dos participantes, tornando

incompreensível o papel da expectativa individual sobre a tolerância ao exercício físico (Martin, et al., 1982). Outro problema refere-se ao fato que participantes destes estudos mudam seu padrão respiratório após pré-fadiga da musculatura respiratória (Dodd, et al, 1989), de modo que quaisquer mudanças na tolerância ao exercício físico podem não ser causadas apenas pela fadiga muscular respiratória, mas também por uma magnitude maior da dispneia respiratória.

Outra abordagem para determinar se a fadiga dos mecanismos regulatórios da respiração pode afetar a tolerância ao exercício físico é atenuar a sobrecarga da musculatura respiratória durante esforço físico, respirando uma mistura gasosa de baixa densidade, tais como o heliox (21% oxigênio e 79% hélio). De fato, o heliox reduz a turbulência do fluxo aéreo em níveis elevados de ventilação, facilitando o trabalho da musculatura respiratória através da atenuação de limitações de fluxo expiratório e pela hiperinflação pulmonar dinâmica (McClaran, et al., 1999). Usando a presente abordagem, o tempo até a exaustão durante exercício físico de carga constante foi mais longo em intensidade vigorosa ($>85-90\% \dot{V}O_{2max}$) (Powers, et al., 1986; Johnson, et al., 2007), porém inalterado em uma intensidade leve (Johnson, et al., 2007). Cabe salientar, todavia, que o heliox não somente facilita o trabalho muscular respiratório, mas também melhora a saturação de oxigênio arterial através de uma combinação de maior ventilação alveolar e decréscimo na diferença de oxigênio entre os capilares e os alvéolos (Christopherson e Hlastala, 1982).

Uma abordagem alternativa para facilitar o trabalho muscular respiratório é o uso da ventilação mecânica. De fato, quando um ventilador mecânico foi usado para facilitar o trabalho muscular respiratório durante exercício físico vigoroso ($> 90\% \dot{V}O_{2max}$), o tempo até a exaustão foi prolongado a percepção de desconforto de membros inferiores e respiração durante esforço físico foi reduzido (Harms, et al., 2000). Cabe

salientar que alguns estudos notaram poucos benefícios da ventilação mecânica sobre a tolerância do exercício físico (Gallagher, et al., 1999; Krishnan, et al., 1996); todavia, nota-se que tais estudos foram conduzidos usando esforços de intensidades moderadas (70-80% do consumo máximo de oxigênio) em adultos saudáveis, mas destreinados. Uma potencial limitação desta abordagem é que as pressões geradas pelo ventilador mecânico no exercício físico máximo são substanciais e incomodas aos participantes do estudo, mesmo após um tempo de familiarização adequado (Harms, et al., 2000). Outra potencial limitação desta abordagem refere-se ao fato que, com raras exceções (Romer, et al., 2007), um grupo placebo foi incluso no delineamento experimental do estudo. De modo particular, uma limitação inerente para todos os estudos usando ventilação mecânica é a impossibilidade de determinar se os efeitos positivos causados pelo reduzido trabalho muscular respiratório na tolerância ao exercício físico são atribuíveis a atenuação da fadiga muscular respiratória ou alívio dos desconfortos causados por níveis elevados de trabalho muscular respiratório (Romer e Polkey, 2008). Cabe notar, por fim, que facilitar o trabalho da musculatura inspiratória causa uma pressão intratorácica menos negativa que, através de uma redução na sobrecarga ventricular, minimiza o volume de ejeção e o débito cardíaco (Harms, et al., 1998).

3.2.5 Mecanismos regulatórios da respiração: Treinamento muscular respiratório

Outra abordagem alternativa para facilitar o trabalho da musculatura respiratória é o treinamento da musculatura respiratória (Bailey, et al., 2010; Stuessi, et al., 2001; Dall'Ago, et al., 2006). De fato, evidências de estudos anteriores sugerem que o treinamento muscular respiratório causa um aumento no fluxo sanguíneo e na disponibilidade de oxigênio para a musculatura ativa de membros inferiores (Mancini,

et al., 1997, McConnell e Lomax, 2006), podendo, por conseguinte, melhorar a capacidade para realizar exercício físico em adultos saudáveis (Volianitis, et al., 2001; McEntire, et al., 2016). O treinamento muscular respiratório, ainda, foi associado com uma reduzida fadiga da musculatura ativa dos membros inferiores após pré-fadiga dos músculos inspiratórios (McConnell e Lomax, 2006), acúmulo de lactato sanguíneo (Brown, et al., 2008), dispneia e desconforto percebido em membros inferiores (McEntire, et al., 2016), e ocasionalmente, ventilação minuto (Leddy, et al., 2007). A redução na ventilação minuto em uma certa carga de trabalho após treinamento muscular respiratório pode atenuar a necessidade de fluxo sanguíneo pelos músculos respiratórios de modo que uma maior proporção débito cardíaco seria distribuída para os membros inferiores (Romer e Polkey, 2008). O treinamento muscular respiratório pode ainda reduzir o acúmulo de lactato na musculatura inspiratória ativa (Brown, et al., 2008), reduzindo a estimulação de metaborreceptores do diafragma (Sheel, et al., 2002) e aumentando, por conseguinte, a hiperemia microvascular e o transporte e uso de oxigênio pela musculatura ativa. Mais recentemente, Bailey e colegas (2010) demonstraram que o treinamento muscular respiratório por quatro semanas resulta em uma maior tolerância ao exercício físico submáximo e máximo. Surpreendentemente, escassos os estudos conduzidos para examinar se tais respostas causadas pelo treinamento muscular respiratório são exacerbadas pelo treinamento para estabilização da musculatura da região lombopélvica e tronco e controle postural, conhecida como core training (Reed, et al., 2012). Todavia, coletivamente, a literatura suporta que o treinamento da musculatura respiratória melhora a capacidade para realizar exercício físico em adultos saudáveis, reforçando assim, a necessidade do presente projeto de produção técnica.

3.3 Conceitos introdutórios do treinamento muscular respiratório

O treinamento muscular respiratório é reconhecido como um componente importante no processo de reabilitação respiratória, devido ao seu aumento da função muscular respiratória que pode, potencialmente, reduzir a severidade da falta de ar e melhorar a tolerância ao exercício físico (Reed, et al., 2012). Evidências recentes corroboram tal hipótese na medida em que o treinamento muscular respiratório aumenta a força e a resistência muscular respiratória, diminui sensações de dispneia em repouso e durante esforço, melhorando a capacidade funcional em pacientes portadores de distúrbios pulmonares (Leddy, et al., 2007).

As formas amplamente utilizadas de treinamento muscular respiratório focam tanto no treinamento muscular inspiratório quanto em componentes do treinamento muscular expiratório. Treinamento muscular inspiratório, porém, assumiu um papel fundamental no restabelecimento da função muscular respiratória, enquanto um papel definitivo do treinamento muscular expiratório continua a ser estabelecido. De fato, dois estudos meta-analíticos (Smith et al 1992; Lotters et al 2002), usando dados disponíveis de ensaios randomizados, mostraram a eficácia do treinamento muscular inspiratório em pacientes com doença pulmonar obstrutiva crônica, reforçando assim os pressupostos de agências governamentais no uso desta estratégia (ACCP, 1997). Os mecanismos responsáveis pelo aumento da força e resistência muscular respiratória em pacientes com doença pulmonar obstrutiva crônica permanecem incertos, porém, poderiam estar associados até mesmo com a transição de tipos de fibras musculares na musculatura respiratória (Ramirez-Sarmiento, et al., 2002).

O treinamento muscular respiratório pode ser obtido pela utilização de exercícios com ou sem carga adicional. Em outras palavras, os exercícios respiratórios podem ser feitos tanto pelo uso de respirações espontâneas, selecionadas e controladas, como através de respirações realizadas com aparelhos. Nos exercícios respiratórios sem o uso de carga, via controle voluntário, é possível obter contrações que modificam o volume e a profundidade da respiração. Nos exercícios realizados com aparelhos, por sua vez, a carga adicional é oferecida através de sistemas com cargas lineares ou não lineares, contra os quais o paciente gera esforços respiratórios. A utilização de cargas adicionais permite um melhor controle da intensidade do trabalho, uma vez que é possível ajustar a carga de acordo com as diferenças individuais, contrariamente aos exercícios respiratórios sem carga adicional (McConnell, 2011).

Os dispositivos de treinamento de músculos inspiratórios podem ser categorizados em três tipos distintos: treinadores de resistência inspiratória não dirigidos, treinadores musculares inspiratórios direcionados e treinadores de hiperventilação normocapnicos. Basicamente, o treinamento de resistência inspiratória não direcionada exige que o indivíduo realize esforços inspiratórios e expiratórios através de um orifício de diâmetro variável em uma configuração selecionada. Quanto menor o orifício, maior será a resistência ao fluxo, exigindo assim maior esforço para mover o ar para dentro e para fora do dispositivo. Assim, a carga de treinamento varia de acordo com uma função de potência e não apenas o tamanho do orifício. Para aqueles que escolhem este método de treinamento, é necessária uma atenção cuidadosa ao controle de toda a estratégia de respiração (Romer e Polkey, 2008). Os dispositivos de treinamento muscular inspiratório direcionados, por sua vez, geram uma intensidade controlada de pressões inspiratórias. Resumidamente, o paciente é obrigado a gerar pressão negativa através da inspiração suficiente para superar a carga que o dispositivo está configurado para

produzir. Normalmente, tais dispositivos fornecem feedback visual para que os sujeitos possam manter seus padrões respiratórios no nível prescrito e, assim, sua intensidade de treinamento. A abordagem mais simples de treinamento respiratório é através da espirometria de incentivo, que fornece um alvo determinado com um instrutor de resistência para ajustar o orifício de resistência. O sujeito é instruído para manter um fluxo específico em um ajuste de orifício prescrito, mantendo assim a intensidade do treinamento. Por fim, treinadores de hiperventilação normocapnicos requerem que os sujeitos mantenham altos níveis de ventilação alvo para o tempo prescrito, enquanto o dióxido de carbono é mantido bastante constante por uma re-respiração. A principal desvantagem do método refere-se ao equipamento necessário, frequentemente caro e complexo, não adequado para uso ambulatorial ou doméstico (Romer e Polkey, 2008; McConnell, 2011). Obviamente, o uso do treinamento muscular respiratório em seus diferentes tipos é abrangente, incluindo pessoas saudáveis e pacientes portadores de distúrbios pulmonares, além de profissionais de áreas específicas, como bombeiros, músicos, e até mesmo, atletas de alto rendimento.

3.4 Usabilidade do treinamento muscular respiratório

Os efeitos do treinamento muscular respiratório são usualmente declarados através da avaliação da força muscular inspiratória, a qual pode ser determinada por medidas estáticas ou dinâmicas da respiração. Medidas estáticas são comumente usadas para a pressão inspiratória máxima (PIM), onde o músculo diafragma também pode ser avaliado por meio de sua ativação muscular, via eletromiografia (EMG). Assim, para a prescrição da carga em qualquer sistema, torna-se necessária a aferição da PIM e PEM (pressão expiratória máxima), pela qual pode se prescrever a carga percentual (Volianitis et al., 1999, 2001).

A PIM reflete a capacidade de geração de força dos músculos inspiratórios em combinação com breve contração quasi-estática (manobra de Mueller) sendo avaliada através de um aparelho. Um mínimo de 5 e um máximo de 9 tentativas tecnicamente satisfatórias devem ser realizadas e a maior das três medidas com variação < 5% ou dentro de uma diferença de 5 cmH₂O é definida como máxima. O comprimento inicial dos músculos inspiratórios pode ser controlado, iniciando cada esforço por seu volume residual. Este procedimento é adotado pois volume residual é mais reproduzível que a capacidade residual funcional. Cada paciente é instruído a repousar e caso preparado, esvaziar lentamente seus pulmões até seu volume residual, evitando assim problemas associados à variabilidade nos volumes pulmonares. Todas as manobras devem ser realizadas na posição vertical, com incentivo verbal para ajudar os indivíduos a realizar o máximo (Volianitis et al., 1999, 2001).

O treinamento muscular respiratório é realizado com o paciente respirando vs uma carga inspiratória externa, onde o método mais usado é o treinamento com carga pressórica linear (fluxo-dependente), cuja resistência inspiratória é obtida por meio de uma válvula com mola não dependente do fluxo do paciente, assegurando, portanto, o controle total da carga inspiratória. Este treinamento é recomendado devido ao melhor controle e determinação da carga inspiratória, e não gera alteração do padrão respiratório. Os aparelhos mais utilizados são Threshold IMT® e o Powerbreathe® e as sessões de treinamento podem ocorrer em ambiente ambulatorial ou doméstico (McConnell, 2011). Powerbreathe®, por exemplo, é um modelo que aplicação contínua de pressão inspiratória ao longo da inspiração, fazendo com que a válvula regulatória da inspiratória permaneça aberta enquanto permite uma expiração irrestrita que gera resistência através de um sistema de mola ou de um sistema eletrônico valvular. A diferença entre esta ferramenta e a outras no mercado é a sua capacidade de oferecer

maior carga durante a treinamento (Volianitis, 2001). Em geral, a resistência imposta ao paciente equivale 15%PIM; porém, esta carga de trabalho tem sido considerada insignificante (Volianitis, 1999). Cargas de treinamento entre 40% e 60%PIM podem ser obtidas durante treinamento. De fato, em uma carga de 40% é possível inalar para cerca de 60% do volume pulmonar, enquanto que em 70% só é possível inalar em torno de 35% do volume pulmonar. Se a carga for muito pesada, poucas respirações serão feitas, pois a carga não pode ser superada, e os músculos inspiratórios se desenvolvem num intervalo baixo de volumes pulmonares e a quantidade de trabalho feito pelos músculos inspiratórios é comprometida (Volianitis, 2001). Em uma carga pesada, a quantidade de trabalho realizado pelos músculos inspiratórios parece ser inferior ao estímulo causado por um treinamento com carga moderada, reduzindo, por conseguinte, a sua eficácia (McConnell, 2001). Pesquisas mostram que a melhor configuração de carga é equivalente a 50 a 70%PIM, oferecendo a maior variedade de benefícios e o maior nível de conforto durante o treinamento, com ~30 repetições respiratórias (Volianitis, 2001).

Cabe notar, por fim, que o treinamento muscular respiratório envolve esforços controlados, específicos e repetidos em intervalos regulares e pré-determinados. Os músculos respiratórios são similares aos músculos esqueléticos, portanto, seguem os mesmos princípios de treinamento convencional: especificidade, sobrecarga, além da reversibilidade (McConnell, 2011).

4 METODOLOGIA

4.1 Desenvolvimento do produto técnico

O Guia Prático foi elaborado em três etapas: revisão literária do conteúdo de interesse, definição dos tópicos a serem abordados no material, e processo de criação, diagramação e arte final realizada por um profissional de design gráfico.

4.1.1 Definição de tópicos

Após revisão inicial da literatura vigente, fez-se o processo de seleção de artigos científicos para a inserção da informação contida no presente Guia Prático. Na primeira parte do material proposto, destacam-se as informações conforme segue:

(1) Nossa Proposta

(2) Anatomia do Sistema Respiratório

(3) Fisiologia do Sistema Respiratório

Na segunda parte do material, buscou-se descrever, baseado em estudos científicos, fatores determinantes da função respiratório durante esforço físico e a relação do sistema respiratório com a fadiga muscular respiratória em adultos saudáveis e em condição patológica, como segue:

- (1) Sistema Respiratório e Exercício Físico
- (2) Determinantes da Função Respiratória no Exercício Físico
- (3) Sistema Respiratório e Fadiga Muscular Respiratória

Por fim, na última parte do material, serão apresentadas as informações como segue:

- (1) Intolerância Respiratória ao Exercício Físico: Estratégias
- (2) Treinamento Muscular Respiratório: Fato ou Falácia?
- (3) Treinamento Muscular Respiratório: Recomendações
- (4) Treinamento Muscular Respiratório: Efeitos Adversos?
- (5) Referências Bibliográficas

4.1.2 arte final e solicitação do ISBN

Após a descrição e aprovação do conteúdo, um profissional de design gráfico será contratado para concluir os processos de criação, diagramação, e arte final do Guia Prático. Utilizou-se programas de edição de imagens CorelDraw e Photoshop (Versão 7.1), considerando as dimensões do Guia de 21.0 × 29.7 cm (A4). Por fim, após aprovação pela comissão examinadora, o Guia Prático será submetido à avaliação de mérito na editora da Universidade Norte do Paraná (UNOPAR), preconizando a solicitação do International Standard Book Number (ISBN), com a posterior divulgação do material.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aaron EA, Seow KC, Johnson BD, et al. Oxygen cost of exercise hyperpnea: implications for performance. *J Appl Physiol.* 72: 1818–1825, 1992.

Agostoni E, Rahn H. Abdominal and thoracic pressures at different lung volumes. *J Appl Physiol.* 15: 1087–1092, 1960.

Ainsworth DM, Smith CA, Eicker SW, et al. The effects of locomotion on respiratory muscle activity in the awake dog. *Respir Physiol.* 78: 145–162, 1989.

Allen DG, Lamb GD, Westerblad H. Skeletal muscle fatigue: Cellular mechanisms. *Physiol Rev.* 88: 287-332, 2008.

Aliverti A, Cala SJ, Duranti R, et al. Human respiratory muscle actions and control during exercise. *J Appl Physiol.* 83: 1256–1269, 1997.

Babcock MA, Johnson BD, Pegelow DF, et al. Hypoxic effects on exercise-induced diaphragmatic fatigue in normal healthy humans. *J Appl Physiol.* 78: 82–92, 1995.

Babcock MA, Pegelow DF, Harms CA, et al. Effects of respiratory muscle unloading on exercise-induced diaphragm fatigue. *J Appl Physiol.* 93: 201–206, 2002.

Bailey SJ, Romer LM, Kelly J, et al. Inspiratory muscle training enhances pulmonary O₂ uptake kinetics and high-intensity exercise tolerance in humans. *J Appl Physiol*. 109: 457-468, 2010.

Brown PI, Sharpe GR, Johnson MA. Inspiratory muscle training reduces blood lactate concentration during volitional hyperpnoea. *Eur J Appl Physiol*. 104: 111-117, 2008.

Charususin N, Gosselink R, McConnell A, et al. Inspiratory muscle training improves breathing pattern during exercise in COPD patients. *Eur Respir J*. 47: 1261-1264, 2016.

Crisafulli E, Costi S, Fabbri L, et al. Respiratory muscles training in COPD patients. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*. 2: 19-25, 2007.

Cross TJ, Sabapathy S, Schneider DA, et al. Breathing HeO₂ attenuates the slow component of O₂ uptake kinetics during exercise performed above the respiratory compensation threshold. *Exp Physiol* 95: 172-183, 2010.

Christopherson SK, Hlastala MP. Pulmonary gas exchange during altered density gas breathing. *J Appl Physiol*. 52: 221–225, 1982.

Dall'Ago P, Chiappa GRS, Guths H, et al. Inspiratory muscle training in patients with heart failure and inspiratory muscle weakness. *J Am Coll Cardiol.* 47: 757-763, 2006.

Dempsey JA. JB Wolffe memorial lecture. Is the lung built for exercise? *Med Sci Sports Exerc.* 18: 143-155, 1986.

Dodd SL, Powers SK, Thompson D, et al. Exercise performance following intense, short-term ventilatory work. *Int J Sports Med.* 10: 48–52, 1989.

Gallagher CG, Younes M. Effect of pressure assist on ventilation and respiratory mechanics in heavy exercise. *J Appl Physiol.* 66: 1824–1837, 1989.

Gosselink R, Troosters T, Decramer M. Distribution of muscle weakness in patients with stable chronic obstructive pulmonary disease. *J Cardiopulm Rehabil.* 20: 353-360, 2000.

Grassinio AE, Derenne JP, Almirall J, et al. Configuration of the chest wall and occlusion pressures in awake humans. *J Appl Physiol.* 50: 134–142, 1981.

Harms CA, Wetter TJ, McClaran SR, et al. Effects of respiratory muscle work on cardiac output and its distribution during maximal exercise. *J Appl Physiol.* 85: 609–618, 1998.

Harms CA, Wetter TJ, St Croix CM, et al. Effects of respiratory muscle work on exercise performance. *J Appl Physiol.* 89: 131–138, 2000.

Henke KG, Sharratt M, Pegelow D, et al. Regulation of end-expiratory lung volume during exercise. *J Appl Physiol.* 64: 135–146, 1988.

Holm P, Sattler A, Fregosi RF. Endurance training of respiratory muscles improves cycling performance in fit young cyclists. *BMC Physiol.* 4: 9, 2004.

Human A, Corten L, Jelsma J, et al. Inspiratory muscle training for children and adolescents with neuromuscular diseases: A systematic review. *Neuromuscul Disord.* 27: 503-517, 2017.

Illi SK, Held U, Frank I, et al. Effects of respiratory muscle training in exercise performance in healthy individuals: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med.* 42: 707-724, 2012.

Johnson BD, Babcock MA, Suman OE, et al. Exercise induced diaphragmatic fatigue in healthy humans. *J Physiol.* 460: 385-405, 1993.

Johnson BD, Saupe KW, Dempsey JA. Mechanical constraints on exercise hyperpnea in endurance athletes. *J Appl Physiol.* 73: 874–886, 1992.

Johnson MA, Sharpe GR, Brown PI. Inspiratory muscle training improves cycling time-trial performance and anaerobic work capacity but not critical power. *Eur J Appl Physiol.* 101: 761–770, 2007.

Krishnan B, Zintel T, McParland C, et al. Lack of importance of respiratory muscle load in ventilatory regulation during heavy exercise in humans. *J Physiol.* 490: 537–550, 1996.

Kyroussis D, Mills GH, Polkey MI, et al. Abdominal muscle fatigue after maximal ventilation in humans. *J Appl Physiol.* 81: 1477–1483, 1996.

Leddy JJ, Limprasertkul A, Patel S, et al. Isocapnic hyperpnea training improves performance in competitive male runners. *Eur J Appl Physiol.* 99: 665-676, 2007.

Lotters F, Van Tol B, Kwakkel G, et al. Effects of controlled inspiratory muscle training in patients with COPD: A meta-analysis. *Eur Respir J.* 20: 570-578, 2002.

Mador MJ, Acevedo FA. Effect of respiratory muscle fatigue on subsequent exercise performance. *J Appl Physiol.* 70: 2059–2065, 1991.

Man WDC, Luo YM, Mustfa N, et al. Postprandial effects on twitch transdiaphragmatic pressure. *Eur Respir J*. 20: 577–580, 2002.

Mancini D, Donchez L, Levine S. Acute unloading of the work of breathing extends exercise duration in patients with heart failure. *J Am Coll Cardiol*. 29: 590–596, 1997.

Martin B, Heintzelman M, Chen HI. Exercise performance after ventilatory work. *J Appl Physiol*. 52: 1581–1585, 1982.

McConnell A. *Breathe strong, perform better*. Champaign: Human Kinetics Books, 2011.

McConnell A. In favour of respiratory muscle training. *Chron Respir Dis*. 2: 219-221, 2005.

McConnell AK, Lomax M. The influence of inspiratory muscle work history and specific inspiratory muscle training upon human limb muscle fatigue. *J Physiol*. 577: 445-457, 2006.

McConnell A, Romer LM. Respiratory muscle training in healthy humans: resolving the controversy. *Int J Sports Med*. 25: 284-293, 2004.

McEntire SJ, Smith JR, Ferguson CS, et al. The effect of exercise training with an additional inspiratory load on inspiratory muscle fatigue and time-trial performance. *Respir Physiol Neurobiol.* 230: 54-59, 2016.

McClaran SR, Wetter TJ, Pegelow DF, et al. Role of expiratory flow limitation in determining lung volumes and ventilation during exercise. *J Appl Physiol.* 86: 1357–1366, 1999.

Milic-Emili G, Petit JM. Mechanical efficiency of breathing. *J Appl Physiol.* 15: 359–362, 1960.

Mills DE, Johnson MA, Barnett YA, et al. The effects of inspiratory muscle training in older adults. *Med Sci Sports Exerc.* 47: 691-697, 2015.

Mills GH, Kyroussis D, Hamnegard CH, et al. Bilateral magnetic stimulation of the phrenic nerves from an anterolateral approach. *Am J Respir Crit Care Med.* 154: 1099–1105, 1996.

Mizuno M. Human respiratory muscles: fibre morphology and capillary supply. *Eur Respir J.* 4: 587–601, 1991.

Moxham J, Morris AJ, Spiro SG, et al. Contractile properties and fatigue of the diaphragm in man. *Thorax*. 36: 164–168, 1981.

Polkey MI, Duguet A, Luo Y, et al. Anterior magnetic phrenic nerve stimulation: laboratory and clinical evaluation. *Intensive Care Med*. 26:1065–1075, 2000.

Powers SK, Jacques M, Richard R, et al. Effects of breathing a normoxic He-O₂ gas mixture on exercise tolerance and VO₂max. *Int J Sports Med*. 7: 217–221, 1986.

Rahn H, Otis AB, Chadwick LE, et al. The pressure-volume diagram of the thorax and lung. *Am J Physiol*. 146: 161–178, 1946.

Reed CA, Ford KR, Myer GD, et al. The effects of isolated and integrated core stability training on athletic performance measures: a systematic review. *Sports Med*. 42: 697-706, 2012.

Romer LM, Miller JD, Haverkamp HC, et al. Inspiratory muscles do not limit maximal incremental exercise performance in healthy subjects. *Respir Physiol Neurobiol*. 156: 353–361, 2007.

Romer LM, Lovering AT, Haverkamp HC, et al. Effect of inspiratory muscle work on peripheral fatigue of locomotor muscles in healthy humans. *J Physiol.* 571: 425–439, 2006.

Romer LM, Polkey ML. Exercise-induced respiratory muscle fatigue: implications for performance. *J Appl Physiol.* 104: 879-888, 2008.

Seals DR, Suwarno NO, Dempsey JA. Influence of lung volume on sympathetic nerve discharge in normal humans. *Circ Res.* 67: 130–141, 1990.

Sheel AW, Derchak PA, Morgan BJ, et al. Fatiguing inspiratory muscle work causes reflex reduction in resting leg blood flow in humans. *J Physiol.* 537: 277–289, 2001.

Sheel AW, Derchak PA, Pegelow DF, et al. Threshold effects of respiratory muscle work on limb vascular resistance. *Am J Physiol.* 282: H1732–H1738, 2002.

Smith J, Bellemare F. Effect of lung volume on in vivo contraction characteristics of human diaphragm. *J Appl Physiol.* 62: 1893–1900, 1987.

Stuessi C, Spengler CM, Knopfli-Lenzin, et al. Respiratory muscle endurance training in humans increases cycling endurance without affecting blood gas concentrations. *Eur J Appl Physiol.* 84: 582-586, 2001.

Taylor BJ, How SC, Romer LM. Exercise-induced abdominal muscle fatigue in healthy humans. *J Appl Physiol.* 100: 1554–1562, 2006.

Volianitis S, McConnell A, Koutedakis Y, et al. Inspiratory muscle training improves rowing performance. *Med Sci Sports Exerc.* 33: 803–809, 2001.

(Página Em Branco)

Copyright © by Universidade Norte do Paraná - UNOPAR

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS

Nenhuma parte deste Guia Prático poderá ser reproduzida, por qualquer processo, sem a permissão expressa da Universidade Norte do Paraná - UNOPAR.

1ª edição brasileira – 2018

INFORMAÇÕES E CONTATO	Vanessa da Silva Siqueira E-mail: vanessa_dss92@hotmail.com
SUPERVISÃO	Cosme Franklim Buzzachera Professor Titular da Universidade Norte do Paraná - UNOPAR Docente do Programa de Mestrado Profissional em Exercício Físico na Promoção da Saúde - UNOPAR
EQUIPE TÉCNICA	Vanessa da Silva Siqueira Cosme Franklim Buzzachera
PROJETO GRÁFICO E DIAGRAMAÇÃO	Gabriele Gomes Bernardes
ENTIDADE PUBLICADORA	UNOPAR editora
DIRETOR GERAL	Rui Fava
REITOR	Cleber Fagundes Ramos
PRÓ-REITOR DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO	Hélio Hiroshi Suguimoto
MESTRADO PROFISSIONAL EM EXERCÍCIO FÍSICO NA PROMOÇÃO DA SAÚDE	Dartagnan Pinto Guedes (Coordenador)

UNIVERSIDADE NORTE DO PARANÁ - UNOPAR

Setor de Ciências da Saúde

Avenida Paris, 675, Jardim Piza

www.unopar.br

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO,
PARA FINS DE ESTUDO OU PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, São Paulo, Brasil)

ATENÇÃO

Ficha Catalográfica, Preencher
Com Os Dados Necessário

000 X00

Treinamento muscular respiratório: Uma abordagem
teórico-prática no contexto da promoção da saúde

/ Universidade Norte do Paraná – 1.ed. – Londrina:

Xxxxx, 2018 – 12p.; 21cm.

0 000000 000000

ISBN 000-00-0000-000-0

SUMÁRIO

PARTE I Anatomia e fisiologia do sistema respiratório

07 A Nossa Proposta

08 Anatomia do Sistema Respiratório

09 Fisiologia do Sistema Respiratório

PARTE II Sistema respiratório e exercício físico

11 Bases fisiológicas

12 Fadiga muscular respiratória

13 Determinantes da fadiga muscular respiratória

PARTE III Treinamento muscular respiratório

15 Intolerância Respiratória ao Exercício Físico: Estratégias

16 Treinamento Muscular Respiratório: Fato ou Falácia?

17 Treinamento Muscular Respiratório: Recomendações

20 Treinamento Muscular Respiratório: Efeitos Adversos?

21 Referências Bibliográficas

22 Sobre os Autores

23 Anotações

PARTE I

Anatomia e fisiologia do sistema respiratório

7 A NOSSA PROPOSTA

O treinamento da musculatura respiratória foi criado para ser usado em portadores de doenças crônicas, como asma, enfisema, doença pulmonar obstrutiva crônica, entre outras (Crisafulli et al 2007). O treinamento muscular respiratório parece ser capaz de atenuar a queda na força e na resistência da musculatura respiratória nestes pacientes, reduzindo a cronicidade da doença (Gosselink, et al., 2000). Hoje, porém, o treinamento muscular respiratório se tornou mais abrangente, e pode ser usado por pessoas sem quaisquer limitações respiratórias, na simples busca de uma melhor função respiratória. Profissionais diversos como bombeiros, músicos, e mesmo atletas de elite se beneficiam de seus numerosos efeitos (McConnell 2011).

A proposta de nosso material é fornecer informações teóricas e práticas, baseadas em evidências científicas, que possam auxiliar profissionais da saúde na compreensão dos efeitos benéficos do treinamento muscular respiratório, seus procedimentos de uso e seus potenciais efeitos adversos, caso existam. O presente material pode servir ainda como um referencial na formação de recursos humanos na área da saúde em cursos universitários e no delineamento de estudos científicos no âmbito acadêmico.

Por questões didáticas, o conteúdo deste Guia Prático foi dividido em três partes:

1. Coletânea de informações teóricas, baseadas em evidências científicas atuais, sobre a anatomia e a fisiologia do sistema respiratório.
2. Coletânea de informações teóricas, baseadas em evidências científicas atuais, sobre a fisiologia do sistema respiratório durante exercício físico.
3. Recomendações práticas e úteis a respeito da usabilidade do treinamento muscular respiratório, com material ilustrativo de exercícios propostos.

Este Guia Prático foi elaborado e apresentado na Universidade Norte do Paraná – UNOPAR, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre no Programa de Mestrado Profissional em Exercício Físico na Promoção da Saúde.

8 ANATOMIA DO SISTEMA RESPIRATÓRIO

O fenômeno da respiração

A respiração é um fenômeno indispensável a sobrevivência humana, consistindo da absorção de oxigênio e eliminação de gás carbônico. A finalidade desta troca gasosa é fornecer produtos essenciais aos tecidos a fim de nutri-los. Estruturalmente, o sistema respiratório divide-se em vias aéreas superiores e inferiores. O trato respiratório superior é formado por órgãos localizados fora da caixa torácica, como nariz externo, cavidade nasal, faringe, laringe e parte superior da traqueia. O trato respiratório inferior consiste de órgãos localizados na cavidade torácica, incluindo parte inferior da traqueia, pulmões, brônquios, bronquíolos, e alvéolos, reconhecidos como a unidade funcional do sistema respiratório (McConnell 2011).

* Inserção de ilustração do sistema respiratório e da musculatura respiratória

A importância da musculatura respiratória

A entrada de ar ocorre através da contração dos músculos respiratórios. Na inspiração, o diafragma, o mais importante músculo respiratório, localizado abaixo dos pulmões, movimenta-se para baixo, juntamente com os músculos intercostais localizados entre as costelas, expandindo a caixa torácica. Na expiração, inversamente, a saída de ar dos pulmões ocorre pela contração passiva dos músculos respiratórios, onde o retorno dos pulmões ocorre graças a sua capacidade elástica. Todo o processo da respiração ocorre automaticamente através de uma regulação central na base do cérebro.

Quais são os músculos respiratórios?

A ação respiratória ocorre graças a um arranjo complexo de toda a musculatura ligada à caixa torácica. Músculos inspiratórios incluem diafragma e intercostais – em certos casos, peitoral menor e maior, serrátil anterior, escaleno e esternocleidomastoideo. Por sua vez, em certos casos, como na expiração forçada, músculos expiratórios regulam a compressão da cavidade torácica para gerar a saída de ar para o meio externo. A musculatura expiratória inclui músculos da parede abdominal, como transverso, oblíquos internos e externos, quadrado lombar, latíssimo do dorso, além do serrátil posterior inferior.

9 FISIOLOGIA DO SISTEMA RESPIRATÓRIO

O papel da ventilação pulmonar

O consumo de oxigênio necessário para a manutenção da vida humana em repouso é de cerca de $250 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ (Howley e Bassett Jr, 2000). Entretanto, no início do exercício físico, a ventilação pulmonar sofre um aumento abrupto e de grande magnitude, seguida por aumentos graduais guiados pela necessidade metabólica do esforço a ser feito. A maior ventilação pulmonar é atribuída à fatores combinados, incluindo um aumento na frequência e na profundidade respiratória (ou volume corrente), e ocorre para garantir um aumento na absorção e uso de oxigênio pela musculatura em movimento e liberar coprodutos gerados pelo corpo humano, como o dióxido de carbono.

* Inserção de ilustração do consumo de oxigênio vs ventilação com o aumento da intensidade do esforço

Sobre o consumo de oxigênio

Com o aumento gradual do esforço durante exercício físico, a necessidade por oxigênio aumenta linearmente, sendo controlado rigorosamente no tronco cerebral (West 2013). Coprodutos metabólicos gerados no exercício físico começam a se acumular como um resultado da respiração celular. Assim, a frequência respiratória deverá ser aumentada. A frequência respiratória, de fato, pode permanecer elevada até mesmo 1-2 horas após exercício físico prolongado. Cabe destacar que assim como a frequência respiratória, o consumo de oxigênio também possui um limite superior, denominado consumo máximo de oxigênio (Howley e Bassett Jr, 2000). O consumo máximo de oxigênio é geralmente mensurado em laboratório e atletas treinados em provas de longa duração possuem, comumente, um consumo máximo de oxigênio maior do que pessoas pouco treinadas, refletindo, assim, uma maior capacidade para suprir necessidades metabólicas durante esforço físico.

PARTE II

Sistema respiratório e exercício físico

11 BASES FISIOLÓGICAS

Ventilação alveolar e a troca gasosa

A função da respiração durante exercício físico é controlar a ventilação nos alvéolos, a unidade funcional do sistema respiratório onde as trocas gasosas ocorrem. Para que a troca gasosa ocorra de modo satisfatório, a pressão de oxigênio entre o gás dentro dos alvéolos e o sangue no capilar que o nutre deve estar em equilíbrio ácido básico. Cargas de trabalho vigorosas, entretanto, geram uma acidose metabólica, com uma consequente hiperventilação, criada para atenuar a redução do pH arterial no sangue capilar. Assim, respiração e ventilação devem ser ajustadas finamente para tornar o trabalho muscular da musculatura respiratória minimizado ([Romer e Polkey 2008](#)).

* Inserir ilustração da distribuição do fluxo sanguíneo durante exercício físico

Qual é a demanda fisiológica dos músculos respiratórios?

As demandas fisiológicas da musculatura respiratória são baixas. De fato, a necessidade total de oxigênio pelos músculos respiratórios durante exercício físico máximo parece ser entre 8-10% do total do oxigênio consumido pelo corpo ([Aaron et al 1992](#)). Para atletas treinados em provas de longa duração, esse valor parece duplicar. Cabe salientar ainda que grande parte do sangue distribuído para o corpo em movimento é direcionada aos músculos respiratórios, apesar da aumentada necessidade de sangue e seus nutrientes pela musculatura de membros inferiores e superiores.

12 FADIGA MUSCULAR RESPIRATÓRIA E SEUS DETERMINANTES

Definição de fadiga muscular

Fadiga muscular é definida como uma condição de perda da capacidade muscular para desenvolver força e/ou velocidade, resultado de uma maior atividade muscular anterior que se torna reversível pelo repouso (Allen et al 2008). Fadiga torna-se evidente através da redução na produção de força em comparação aos seus valores pré-esforço.

Definição de fadiga muscular respiratória

Fadiga muscular respiratória é definida como a perda na capacidade de gerar força e velocidade pela musculatura respiratória. Infelizmente, a sua medida é complexa, e por isso, até poucos anos atrás, acreditava-se que o sistema respiratório era incapaz de limitar a performance humana (Volianitis et al 2001). Hoje, sabe-se que a fadiga muscular respiratória ocorre em diversas situações, como por exemplo, durante esforço prolongado ou intenso, porém de curta duração (McConnell, 2011).

Nosso estudo

Em um recente estudo feito em nosso laboratório, demonstramos que a fadiga muscular respiratória realmente ocorre após um teste de exercício físico com cargas incrementais, máximo. Porém, cabe ressaltar que a fadiga muscular respiratória foi atenuada pela força muscular respiratória pré-teste, reforçando assim o papel do treinamento da musculatura respiratória na minimização da perda funcional respiratória induzida pelo esforço (Siqueira 2018).

* Inserir ilustração da figura 2 do manuscrito apresentado no apêndice 2

13 DETERMINANTES DA FADIGA MUSCULAR RESPIRATÓRIA

Potenciais causadores da fadiga muscular respiratória

O principal causador da fadiga muscular respiratória induzida pelo esforço físico parece ser o trabalho excessivo da musculatura respiratória. Outros fatores, além do trabalho da musculatura respiratória, também contribuem na fadiga muscular respiratória, como a competição do diafragma com a musculatura locomotora pela distribuição de sangue no corpo (Harms et al 1998) e a maior percepção de dificuldade respiratória, denominada dispneia (Volianitis et al 1999).

Como medir fadiga muscular respiratória?

A determinação da fadiga muscular respiratória é complexa. Em certos estudos, a fadiga muscular respiratória tem sido examinada pela estimulação do nervo frênico ou redução na ativação dos músculos respiratórios usando técnicas como a eletromiografia (EMG). Hoje, contudo, o método mais difundido para medir fadiga muscular respiratória parece ser a análise da redução da pressão inspiratória máxima (PIM) pré e pós exercício físico, usando aparelhos específicos para a finalidade.

Como medir PIM?

PIM reflete a capacidade de geração de força de músculos inspiratórios em combinação com breve contração quasi-estática (manobra de Mueller). Comumente, 5 – 9 tentativas tecnicamente satisfatórias são feitas em um aparelho específico para determinar PIM, e os três maiores escores com variação < 5% ou dentro de uma diferença de 5 cmH₂O, são agrupados para se definir PIM máxima. Todas as tentativas devem ser realizadas na posição vertical, com incentivo verbal para ajudar o avaliado a obter o maior escore possível (Volianitis et al., 1999).

* Inserir foto da determinação de PIM em nosso estudo.

PARTE III

Treinamento muscular respiratório

15 INTOLERÂNCIA RESPIRATÓRIA AO EXERCÍCIO: ESTRATÉGIAS

Como evitar a fadiga muscular respiratória?

Numerosas estratégias existem para atenuar a fadiga muscular respiratória no exercício físico máximo. A mais conhecida delas, porém, é aumentar a força muscular respiratória justamente através do treinamento muscular. Tal estratégia é rotineiramente usada por adultos saudáveis ou portadores de doenças respiratórias crônicas ([Bailey et al 2010](#); [Stuessi et al 2001](#); [Dall'Ago et al 2006](#)).

* Inserir foto do treinamento muscular respiratório em nosso estudo.

Treinamento muscular respiratório e seus efeitos no corpo humano

O treinamento muscular respiratório ocasiona um aumento crônico no fluxo sanguíneo e transporte de oxigênio para a musculatura respiratória durante repouso e exercício físico ([Mancini et al 1997](#); [McConnell e Lomax, 2006](#)), melhorando, assim, a capacidade para realizar exercício físico ([Volianitis et al 2001](#)). O treinamento muscular respiratório, ainda, parece ser associado com um menor acúmulo de lactato sanguíneo, dispneia, e desconforto percebido em membros inferiores ([Brown et al 2008](#)). Surpreendentemente, até agora, nenhum estudo foi feito para examinar se o treinamento muscular respiratório exacerba seus efeitos em combinação com o treino de estabilização da musculatura da região lombopélvica e tronco e controle postural, conhecido como core training.

* Inserir foto do treinamento muscular respiratório associado ao core training.

16 TREINAMENTO MUSCULAR RESPIRATÓRIO: FATO OU FALÁCIA?

O treinamento muscular respiratório pode melhorar a performance?

O treinamento muscular respiratório é reconhecido como um componente importante no processo de reabilitação respiratória, aumentando a força muscular respiratória, e assim potencialmente reduzindo a severidade da falta de ar e melhorando a capacidade para realizar exercício físico (Reed et al 2012). Evidências recentes confirmam a efetividade do treinamento muscular respiratório no aumento da força e da resistência muscular respiratória, diminuição da dispnéia em repouso e no esforço e melhora da performance em adultos saudáveis ou portadores de distúrbios pulmonares (Leddy et al 2007).

Como eu posso treinar a musculatura respiratória?

Numerosas formas de treinamento muscular respiratório existem, focando-se tanto no treino muscular inspiratório, como no treino muscular expiratório. Treinamento muscular inspiratório, porém, assumiu um papel chave no restabelecimento da função muscular respiratória, enquanto um papel definitivo do treinamento muscular expiratório continua a ser estabelecido (McConnell 2011).

Aparelhos de treinamento muscular respiratório

Hoje, diversos tipos de instrumentos existem no mercado, categorizados em três tipos distintos: treinadores de resistência inspiratória não dirigidos, treinadores musculares inspiratórios direcionados e treinadores de hiperventilação normocapnicos. Cabe notar, porém, que dispositivos de treinamento muscular inspiratório direcionados são usados mais comumente tanto em ambientes ambulatoriais como domésticos. Um exemplo de treinador muscular inspiratório direcionado é o Powerbreathe® (McConnell, 2011).

* Inserir foto do Powerbreathe®.

17 TREINAMENTO MUSCULAR RESPIRATÓRIO: RECOMENDAÇÕES

Intensidade

Como qualquer outra musculatura esquelética, os músculos respiratórios são capazes de adaptar-se cronicamente ao treinamento. E assim como qualquer outra musculatura esquelética, a carga de treino é um fator chave para o sucesso da estratégia. De fato, a resistência imposta à musculatura esquelética varia de acordo com as condições prévias do avaliado. Porém, cargas próximas a 15%PIM máxima parecem causar efeitos pouco relevantes com o tempo (Volianitis 1999). Cargas de treinamento entre 40% e 60%PIM máxima, por outro lado, parecem ser ideais, enquanto cargas superiores a 70% podem, inclusive, causar fadiga muscular respiratória pré esforço (McConnell, 2001). Porém, obviamente, a progressão de carga deve existir com a continuidade do treinamento.

Duração

Ainda pouco é conhecido a respeito da duração do treinamento muscular respiratório e do número de repetições a serem feitos por sessão. Pesquisas mostram, contudo, que uma configuração possível para oferecer benefícios e conforto ao paciente é a repetição de duas séries por sessão, com um número de esforços respiratórios equivalentes a 30 por série (Volianitis, 1999, 2001; McConnell, 2011). Modificações no número de séries e esforços respiratórios deve progredir com o avanço do treinamento.

Frequência semanal

Ainda pouco é conhecido também sobre a melhor frequência semanal de treinamento muscular respiratório. Porém, sugere-se que o treinamento deva ser feito diariamente, evitando períodos longos de destreinamento, pois assim como qualquer outro músculo esquelético, a reversibilidade dos efeitos existe também na musculatura respiratória (McConnell, 2011).

Exemplos de exercícios respiratórios

Abaixo são apresentados alguns exemplos de exercícios para o treinamento muscular respiratório. Tais exercícios podem ser feitos de modo independente ou associados com outros aparelhos, como ciclo ergômetro, bolas medicinais, entre outros, ou mesmo em uma sessão de treino aeróbico ou core training.

* Inserir fotos do treinamento muscular respiratório.

20 TREINAMENTO MUSCULAR RESPIRATÓRIO: EFEITOS ADVERSOS?

Cabe salientar, por fim, que o treinamento muscular respiratório envolve esforços controlados, específicos e repetidos em intervalos regulares e pré-determinados. Os músculos respiratórios são similares aos músculos esqueléticos, portanto, seguem os mesmos princípios de treinamento convencional: especificidade, sobrecarga, além da reversibilidade (McConnell, 2011). Todavia, cargas excessivas, teoricamente, podem causar efeitos negativos à adaptação ao treinamento. Cabe notar, porém, que até hoje, a literatura científica não tem relatado efeitos adversos e contraindicações do uso do treinamento muscular respiratório em adultos saudáveis ou portadores de distúrbios crônicos, mas obviamente em certas condições, como pacientes pós-cirúrgicos ou pós-infarto do miocárdio, por exemplo, o treinamento deve ser evitado ou mantido em doses baixas.

21 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

22 SOBRE OS AUTORES

23 ANOTAÇÕES

**EFEITOS DO AQUECIMENTO MUSCULAR RESPIRATÓRIO SOBRE A PRESSÃO
MUSCULAR INSPIRATÓRIA, DISPNEIA PERCEBIDA, E PERFORMANCE
DURANTE EXERCÍCIO FÍSICO INCREMENTAL EM HOMENS JOVENS**

(Submissão do manuscrito para Revista Brasileira de Medicina do Esporte)

(Webqualis A2)

Introdução

Tradicionalmente, o sistema respiratório foi considerado pouco relevante para a regulação da disponibilidade e utilização de O_2 pela musculatura ativa em humanos.¹ Entretanto, sabe-se atualmente que mecanismos regulatórios da respiração limitam a disponibilidade e utilização de O_2 , assim como o desempenho físico, durante exercício físico moderado e vigoroso, diretamente por limitações na atividade da musculatura respiratória ou indiretamente por efeitos na hiperemia microvascular e fadiga muscular periférica.^{2,3} De fato, estudos recentes demonstram que a musculatura respiratória é responsável por consumir ~8-10% do $\dot{V}O_2$ total do organismo⁴, necessitar de ~14-16% do débito cardíaco máximo⁵, e ainda ser susceptível a fadiga^{6,7} durante exercício físico severo. Além disso, atenuar a sobrecarga da musculatura respiratória durante esforço físico severo usando um ventilador mecânico retarda a fadiga diafragmática² e melhora o fluxo sanguíneo microvascular e a disponibilidade e uso de O_2 para músculos ativos em humanos⁵. Por fim, as respostas dinâmicas do $\dot{V}O_2$ e tolerância ao exercício físico foram similarmente otimizadas com a atenuação do trabalho muscular respiratório^{7,8}. Coletivamente, tais achados parecem sugerir que a fadiga da musculatura respiratória, comumente reportada durante esforço físico vigoroso, compromete o fluxo sanguíneo local e a disponibilidade e utilização de O_2 pela musculatura ativa, afetando respostas dinâmicas do $\dot{V}O_2$ pulmonar e capacidade para realizar exercício físico. Tais achados parecem ainda sugerir que intervenções capazes de reduzir a fadiga da musculatura respiratória poderiam ter efeitos opostos – e ergogênicos - em humanos saudáveis ou portadores de distúrbios crônicos⁹⁻¹¹.

Uma intervenção capaz de retardar a fadiga muscular respiratória causada pelo exercício físico parece ser o aquecimento muscular inspiratório. De fato, investigações

recentes sugerem que a fadiga muscular respiratória é reduzida após exercício físico prolongado, submáximo,⁹ ou de curta duração do tipo intermitente¹², após aquecimento muscular inspiratório com cargas entre 40-50% da pressão inspiratória máxima (PIM), um indicador rotineiro de força muscular respiratória.¹³ Ainda, o aquecimento muscular inspiratório parece associar-se com uma menor percepção de dispneia¹⁴ após esforço físico, assim como uma menor concentração de lactato sanguíneo.¹⁵ Cabe salientar, todavia, a existência de estudos recentes refutando tais achados, indicando ausência de efeitos do aquecimento muscular inspiratório sobre a fadiga muscular respiratória, percepção de dificuldade respiratória e capacidade de realizar exercício físico^{16,17}. Tais achados contrastantes podem derivar, ao menos parcialmente, de diferenças oriundas da carga percentual da pressão inspiratória máxima (%PIM) configurada no aparelho respiratório. Infelizmente, até o momento, tal especulação permanece inexplorada. O propósito do presente estudo, portanto, foi verificar os efeitos de diferentes cargas prescritas de aquecimento muscular inspiratório sobre a fadiga muscular respiratória, dispneia percebida, e desempenho físico durante exercício físico incremental, máximo, em adultos jovens, saudáveis.

Material e Métodos

Participantes

Participaram do estudo 12 homens, aparentemente saudáveis (idade média 22 ± 2 anos; estatura 175 ± 7 cm; peso corporal 75 ± 8 kg), moderadamente ativos, livres de distúrbios metabólicos, respiratórios, cardiovasculares e osteomusculares. Todavia, dois voluntários foram excluídos, por motivos pessoais ($n = 1$) e inflamação crônica do trato respiratório superior ($n = 1$), um fator de confundimento na determinação da força muscular respiratória. Assim, a amostra do estudo foi composta por 10 participantes.

Procedimentos

O presente estudo possui um delineamento experimental randômico, cruzado, cego. Cada participante visitou o laboratório em 8 ocasiões. Na sessão 1, realizou-se um inquérito médico pré-participação, coleta de dados antropométricos e composição corporal, e familiarização com os procedimentos e equipamentos a serem usados nas sessões subsequentes. Na sessão 2, por sua vez, determinou-se pressão inspiratória máxima (PIM), um indicador de força muscular inspiratória¹⁸, e função pulmonar.¹⁶ Por fim, nas sessões 3 - 8, testes com cargas incrementais do ripo rampa, máximo, foram realizados. Cada teste incremental foi precedido por um diferente tipo de aquecimento muscular inspiratório.

Aquecimento Muscular Inspiratório

O protocolo de aquecimento muscular inspiratório usado no presente estudo foi previamente descrito por Volianitis et al.¹³ Em suma, duas séries com 30 respirações usando o equipamento Powerbreathe trainer (IMT Technologies®, Birmingham, Reino Unido), com uma carga equivalente a 15% (definido como controle), 40% e 60%PIM. O intervalo entre procedimentos de aquecimento muscular inspiratório e cada teste incremental foi, no máximo, 5 min.

Pressão Inspiratória Máxima

PIM foi determinado de acordo com o protocolo estabelecido por Lomax et al.¹⁶ na segunda visita ao laboratório e usado no presente estudo para prescrição da carga de aquecimento muscular inspiratório e como um reflexo de fadiga da musculatura respiratória.⁹ Em cada sessão experimental, PIM foi determinado imediatamente antes

e após aquecimento muscular inspiratório, assim como ~30 seg após a finalização de cada teste incremental, máximo.

Teste de Exercício Físico Incremental, Máximo

Após a administração do AMI, cada participante realizou um teste incremental de rampa até exaustão em cicloergômetro (Lode Excalibur Sport®, Arnhem, Holanda), com uma carga inicial de 20W e aumento de 20 W.min⁻¹. Consumo de oxigênio ($\dot{V}O_2$) pulmonar (K4B² Cosmed®, Roma, Itália) e desoxigenação muscular do músculo vasto lateral (NIRS Portamon®, Arnhem, Holanda) foram obtidos; todavia, ambos os dados não foram usados no presente estudo. A capacidade para realizar exercício físico foi determinada pela potência máxima (ou W_{max} , em Watts) e tempo até a exaustão (em seg; definida por uma frequência de pedalada < 65 rpm). A escala de Borg CR-10 foi usada para determinar percepção de dispneia pré e pós-teste incremental máximo.

Procedimentos Estatísticos

Testes ANOVA one way foram usados para determinar os efeitos de diferentes cargas de aquecimento muscular inspiratório (15%, 40% e 60%PIM) sobre indicadores da capacidade de realizar exercício físico (W_{max} e tempo até a exaustão), percepção de dispneia e fadiga muscular respiratória (redução $\Delta\%$ PIM) com post hoc Tukey ($P < 0.05$). Coeficientes de correlação r de Pearson foram determinados a fim de examinar a relação entre força muscular respiratória basal, indicada pela PIM, e fadiga muscular respiratória após teste de exercício físico incremental, máximo, nas diferentes cargas de aquecimento muscular inspiratório.

Resultados

A figura 1A-D apresenta os resultados dos indicadores de capacidade individual para realizar exercício físico, nomeadamente, W_{max} e tempo até a exaustão. Nenhum efeito principal de grupo foi verificado para W_{max} e tempo até a exaustão ($P > 0.05$). A figura 2A-F, por sua vez, apresenta os efeitos de grupo e individuais das diferentes cargas de aquecimento muscular respiratório sobre pressão muscular inspiratória pós-aquecimento (A e B) e fadiga muscular inspiratória pós-esforço (C - F). Em resumo, a carga leve (15%PIM) foi incapaz de elevar a pressão muscular inspiratória e atenuar a fadiga muscular respiratório. Similarmente, a carga pesada (60%PIM) não aumentou a pressão muscular inspiratória pós-aquecimento, mas causou uma redução significativa na fadiga muscular respiratória ($P < 0,05$ vs 15%PIM ou controle). A dispneia percebida, por fim, aumentou progressivamente em cada teste de exercício físico incremental, porém, foi similar entre as três diferentes cargas de aquecimento muscular inspiratório (figura 3).

*** Inserir Figura 1 ***

*** Inserir Figura 2 ***

*** Inserir Figura 3 ***

Nenhuma correlação significativa foi verificada entre força muscular respiratória basal, indicada pela PIM determinada na primeira visita laboratorial, e fadiga muscular respiratória após teste de exercício físico incremental nas duas cargas de aquecimento muscular inspiratório superiores, ou seja, 40% e 60%PIM. Entretanto, uma correlação significativa e indireta foi verificada entre a carga de aquecimento muscular inspiratório

inferior, ou seja, 15%PIM, e fadiga muscular respiratória pós esforço ($r = 0,56$ e $r = -0,42$, comparativamente aos dados pré e pós-aquecimento, respectivamente; figura 4).

*** Inserir Figura 4 ***

Discussão

Embora pesquisas recentes tenham sugerido que o aquecimento da musculatura respiratória é capaz de minimizar a fadiga muscular respiratória após exercício físico prolongado, submáximo,⁹ ou de curta duração do tipo intermitente¹², potencializando, por conseguinte, a capacidade para realizar esforço físico, pouco ainda é conhecido se seus potenciais efeitos dependem da carga de aquecimento prescrita. Neste contexto, a presente investigação foi originalmente delineada, buscando examinar os efeitos de três diferentes cargas prescritas de aquecimento muscular inspiratório sobre a fadiga muscular respiratória, percepção de dispneia, e desempenho durante exercício físico incremental, máximo, em homens jovens, aparentemente saudáveis. De modo sucinto, os achados deste estudo refutaram a hipótese do emprego do aquecimento muscular inspiratório como uma estratégia ergogênica capaz de maximizar o desempenho físico aeróbico em humanos.

Evidências anteriores parecem sugerir que a capacidade para realizar exercício físico pode ser otimizada com o uso de uma carga moderada, ~40-50%PIM, durante a prática do aquecimento muscular respiratório^{9,12,13}. Os mecanismos responsáveis pela otimização da performance são incertos, porém, podem estar associados a reduções na percepção de dispneia e fadiga muscular respiratória^{13,19}. De fato, em um estudo

anterior, usando um grupo de 14 remadores de elite, Volianitis et al¹⁹ reportaram uma melhora substancial na potência produzida (1,2%) e na performance durante um teste de 6 min *all out* (3,2%), associados com reduções importantes na dispneia e na fadiga muscular respiratória. Nossos achados parecem contrastar, ao menos parcialmente, os resultados de Volianitis et al^{13,19}. Inicialmente, nenhuma mudança significativa na potência máxima produzida (W_{max}) e tempo até exaustão foram notados no presente estudo, independentemente da carga prescrita de aquecimento muscular respiratório. As razões são incertas, mas poderiam estar associadas com diferenças em protocolos (remo, esforço *all out* de curta duração vs ciclo ergômetro, teste incremental máximo). Cabe notar, porém, que recentes estudos têm similarmente refutado a existência de potenciais efeitos do aquecimento muscular inspiratório sobre a capacidade individual para realizar exercício físico^{16,17}. Outra razão, talvez menos plausível, para inexistência de efeitos ergogênicos do aquecimento muscular inspiratório sobre a performance em nosso estudo poderia associar-se com a falta de mudanças relevantes na percepção da dispneia. Evidências sugerem que durante exercício físico máximo, a percepção de dispneia pode ser um fator mais limitante da performance que a fadiga da musculatura de membros inferiores.²⁰

Embora nenhum efeito ergogênico tenha sido notado na capacidade de realizar exercício físico, surpreendentemente, mudanças significativas puderam ser verificadas na fadiga muscular respiratória. De fato, a fadiga muscular respiratória, unicamente ocorrida na condição 15%PIM, foi evitada após aquecimento muscular respiratório nas condições moderada (40%) e vigorosa (60%) (figura 2C-F). Tais achados corroboram estudos anteriores que afirmam que a fadiga da musculatura respiratória ocorre após esforço severo em adultos saudáveis¹ e pode ser atenuada por estratégias diversas, como o treinamento muscular respiratório^{5,9} ou aquecimento muscular respiratório^{13,19}.

Tais achados contrastam, por outro lado, evidências que suportam a inexistência de fadiga muscular respiratório após exercício físico incremental, máximo²⁰. Destaca-se, contudo, a existência de uma correlação significativa e indireta entre fadiga muscular respiratória e força muscular respiratória, indicada pela PIM determinada na primeira visita laboratorial (figura 4), reforçando, por conseguinte, a importância do treinamento da musculatura respiratório na atenuação da fadiga muscular respiratória pós-esforço. Evidências similar têm sido apresentadas em estudos anteriores²¹.

Conclusões

Os achados deste estudo sugerem que o aquecimento muscular inspiratório não potencializa a capacidade individual para realizar exercício físico, independentemente da carga prescrita. Cabe salientar, todavia, que um aquecimento muscular inspiratório com uma carga moderada (40%MIP) é capaz de aumentar força muscular respiratória e atenuar fadiga muscular respiratória pós-esforço, contudo sem afetar a performance ou a percepção de dispneia. Tais achados corroboram a inexistência de potenciais efeitos ergogênicos do aquecimento muscular respiratório, independente de sua carga prescrita, em homens jovens, aparentemente saudáveis.

Referências

1. Dempsey JA. JB Wolffe memorial lecture. Is the lung built for exercise? *Med Sci Sports Exerc* 18: 143-155, 1986.
2. Babcock MA, Pegelow DF, Harms CA, et al. Effects of respiratory muscle unloading on exercise-induced diaphragm fatigue. *J Appl Physiol* 93: 201–206, 2002.

3. Sheel AW, Derchak PA, Morgan BJ, et al. Fatiguing inspiratory muscle work causes reflex reduction in resting leg blood flow in humans. *J Physiol* 537: 277–289, 2001.
4. Aaron EA, Seow KC, Johnson BD, et al. Oxygen cost of exercise hyperpnea: implications for performance. *J Appl Physiol* 72: 1818–1825, 1992.
5. Harms CA, Wetter TJ, McClaran SR, et al. Effects of respiratory muscle work on cardiac output and its distribution during maximal exercise. *J Appl Physiol* 85: 609–618, 1998.
6. Johnson BD, Babcock MA, Suman OE, et al. Exercise induced diaphragmatic fatigue in healthy humans. *J Physiol* 460: 385–405, 1993.
7. Cross TJ, Sabapathy S, Schneider DA, et al. Breathing HeO₂ attenuates the slow component of O₂ uptake kinetics during exercise performed above the respiratory compensation threshold. *Exp Physiol* 95: 172–183, 2010.
8. Johnson BD, Aaron EA, Babcock MA, et al. Respiratory muscle fatigue during exercise: implications for performance. *Med Sci Sports Exerc* 28: 1129–1137, 1996.
9. Volianitis S, McConnell A, Koutedakis Y, et al. Inspiratory muscle training improves rowing performance. *Med Sci Sports Exerc* 33: 803–809, 2001.
10. McEntire SJ, Smith JR, Ferguson CS, et al. The effect of exercise training with an additional inspiratory load on inspiratory muscle fatigue and time-trial performance. *Respir Physiol Neurobiol*. 2016 [ahead of print]
11. Charususin N, Gosselink R, McConnell A, et al. Inspiratory muscle training improves breathing pattern during exercise in COPD patients. *Eur Respir J* 2016 [ahead of print].
12. Ohya T, Hagiwara M, Suzuki Y. Inspiratory muscle warm up has no impact on performance or locomotor muscle oxygenation during high-intensity intermittent sprint cycling exercise. *Eur J Appl Physiol*. 4: 556, 2015.
13. Volianitis S, McConnell AK, Koutedakis Y, et al. The influence of prior activity upon inspiratory muscle strength in rowers and non-rowers. *Int J Sports Med*. 20: 542–547, 1999.

14. Tong TK, Fu FH. Effect of specific inspiratory muscle warm-up on intense intermittent run to exhaustion. *Eur J Appl Physiol.* 97: 673 –680, 2006.
15. McConnell AK, Lomax M. The influence of inspiratory muscle work history and specific inspiratory muscle training upon human limb muscle fatigue. *J Physiol.* 577: 445-457, 2006.
16. Lomax M, Grant J, Corbett J. Inspiratory muscle warm up and inspiratory muscle training: separate and combined effects on intermittent running to exhaustion. *J Sports Sci.* 29: 563-569, 2011.
17. Johnson MA, Gregson IR, Mills DE, et al. Inspiratory muscle warm up does not improve cycling time trial performance. *Eur J Appl Physiol.* 114: 1821-1830, 2014.
18. Larson JL, Covey MK, Vitalo, et al. Maximal inspiratory pressure: Learning effect and test-retest reliability in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Chest.* 104: 448-453, 1993.
19. Volianitis S, McConnell AK, Koutedakis Y, et al. Specific respiratory warm-up improves rowing performance and exertional dyspnea. *Med Sci Sports Exerc.* 33: 1189-1193, 2001.
20. Romer L, Miller J, Haverkamp HC, et al. Inspiratory muscles do not limit incremental exercise performance in healthy subjects. *Respir Physiol Neurobiol.* 156: 353-361, 2007.
21. McConnell AK, Caine MP, Sharpe GR. Inspiratory muscle fatigue following running to volitional fatigue: The influence of baseline strength. *Int J Sports Med.* 18: 169-173, 1997.

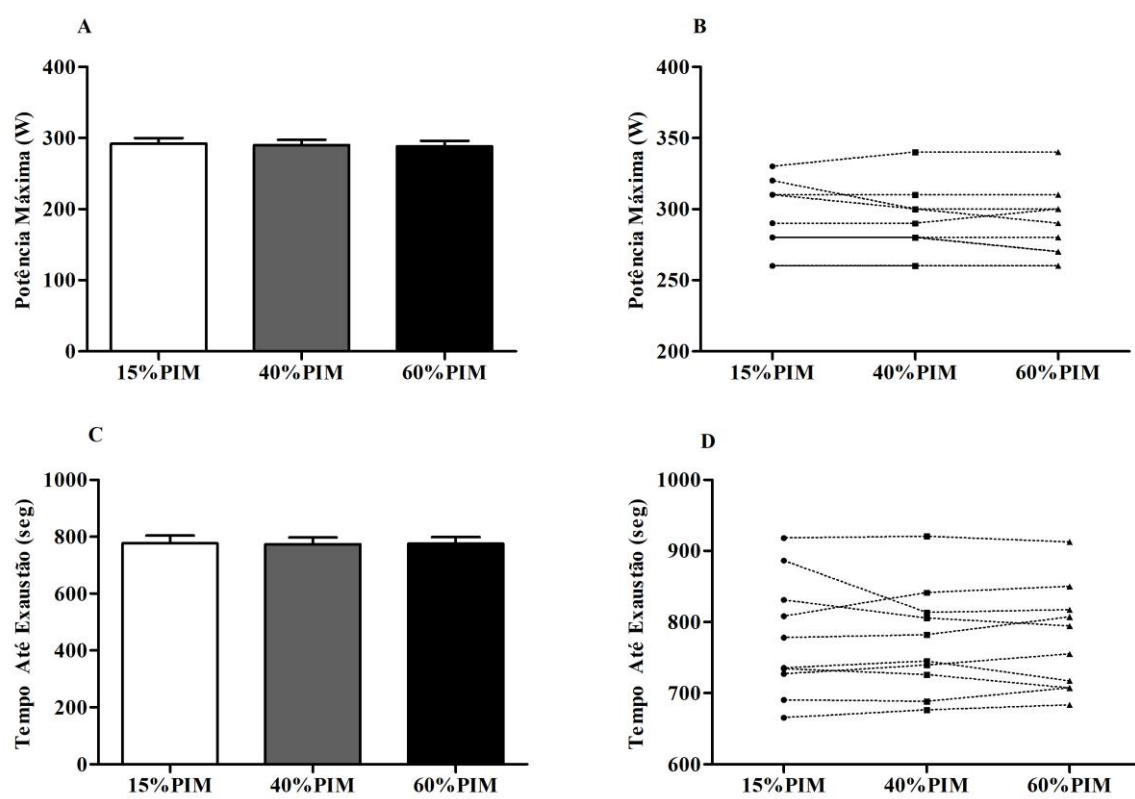
Lista de Figuras

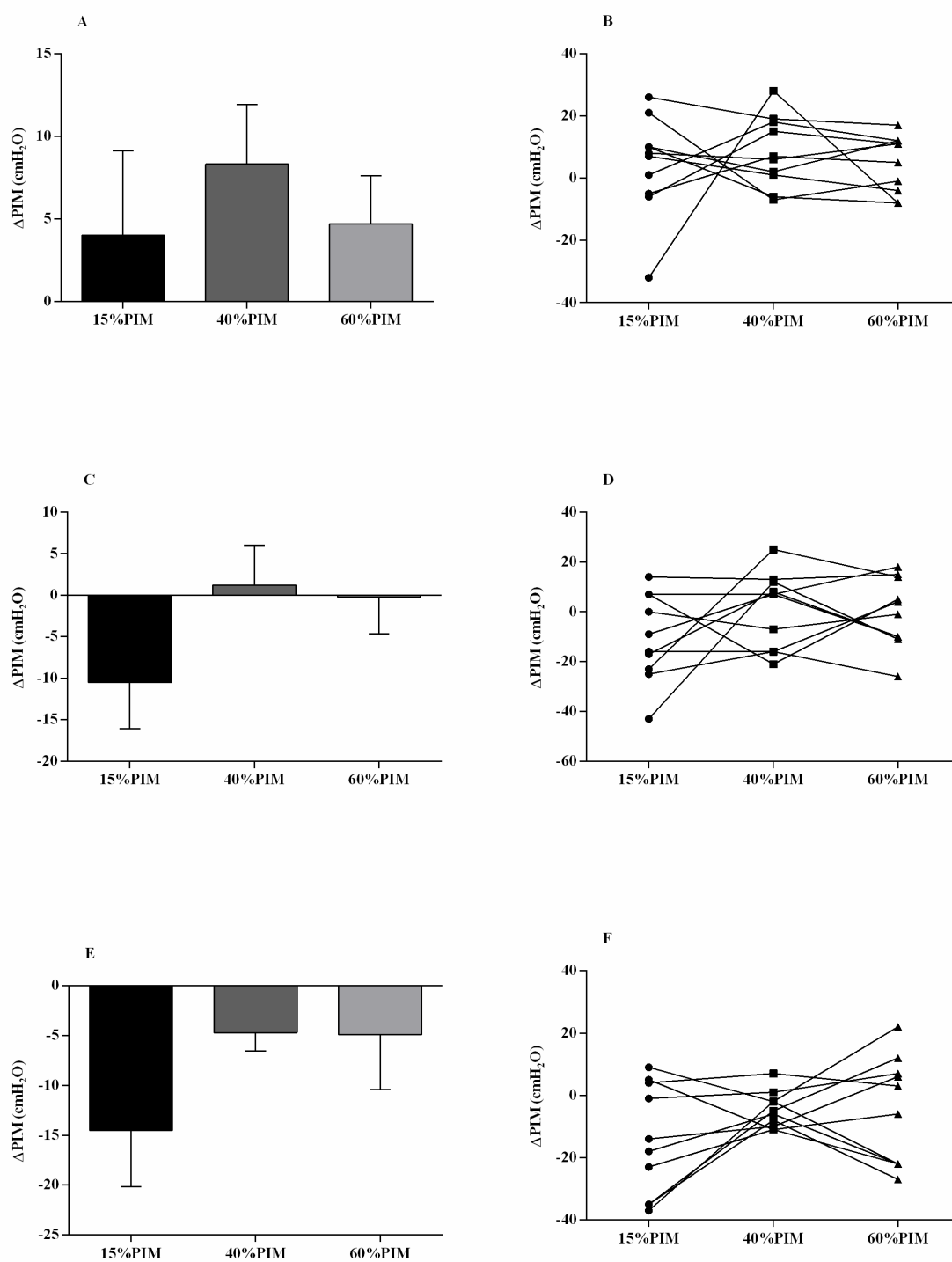
Figura 1 Dados coletivos (A e C) e individuais (B e D) de potência máxima (W_{max} ; Watts) e tempo até a exaustão (seg) após três diferentes cargas de AMI: 15%, 40%, e 60%MIP.

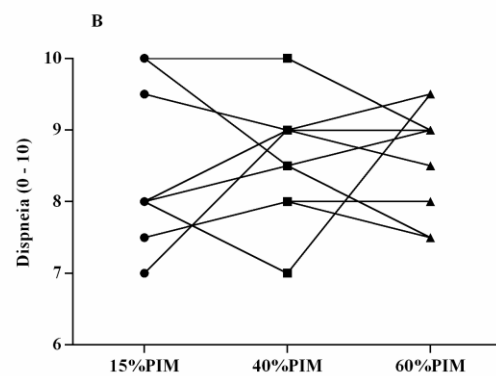
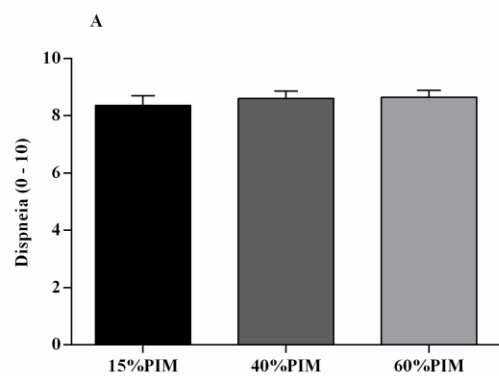
Figura 2 Mudanças absolutas (Δ) na PIM (cmH_2O) após três diferentes cargas de AMI: 15%, 40%, e 60%MIP. Dados coletivos (A, C, E) e individuais (B, D, F) para PIM pré vs pós-aquecimento muscular inspiratório, PIM pré-aquecimento muscular inspiratório vs pós-esforço, e PMI pós-aquecimento muscular inspiratório vs pós-esforço; * $P < 0.05$.

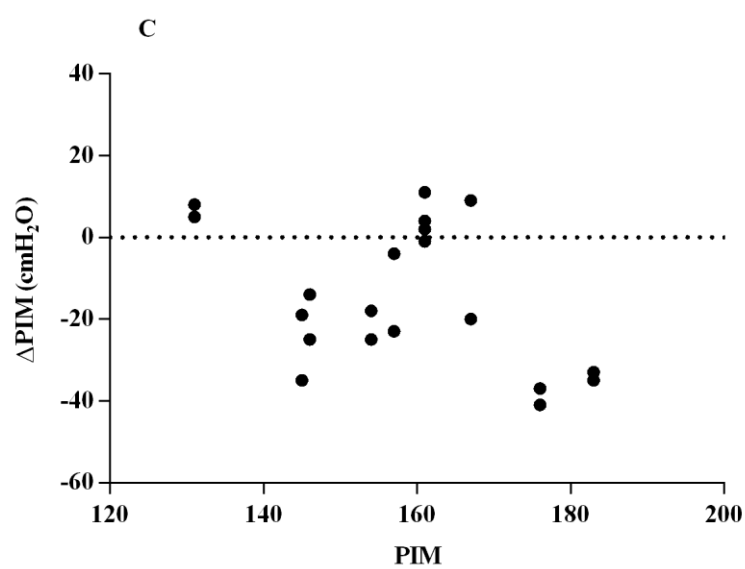
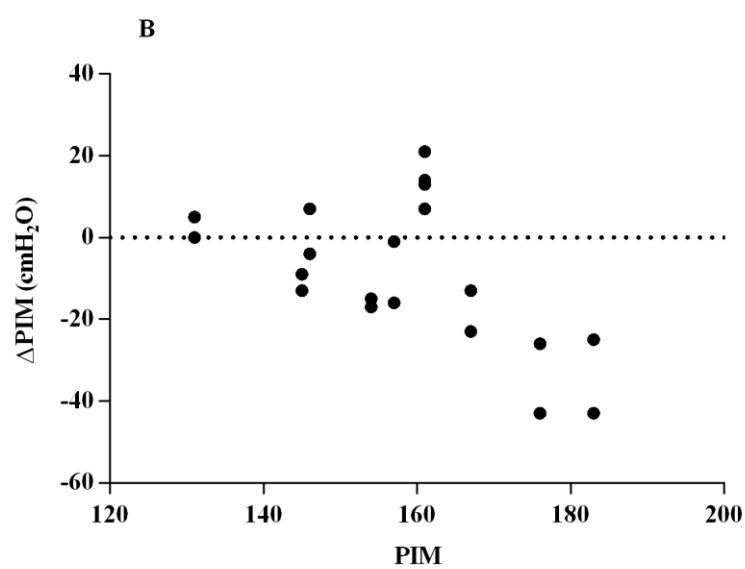
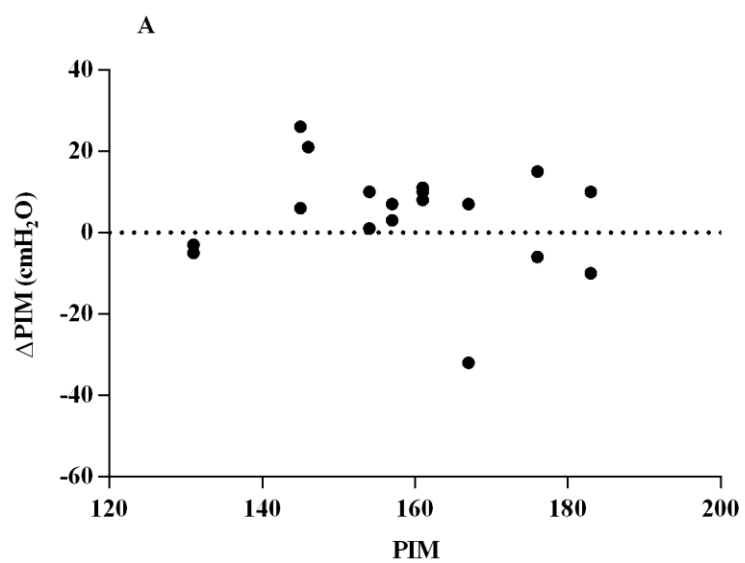
Figura 3 Dados coletivos e individuais de dispneia percebida (Borg CR-10, 0–10) após três diferentes cargas de AMI: 15%, 40%, e 60%MIP.

Figura 4 Correlação entre força muscular respiratória (PIM) e mudanças absolutas (Δ) na PIM (cmH_2O) com carga equivalente a 15%MIP. (A) PIM pré vs pós-aquecimento muscular inspiratório, (B) PIM pré-aquecimento muscular inspiratório vs pós-esforço, e (C) PMI pós-aquecimento muscular inspiratório vs pós-esforço; * $P < 0.05$.









Fadiga muscular respiratória e performance durante exercício físico incremental em adultos jovens: Relação com a força muscular respiratória

Vanessa da Silva Siqueira¹, Debora Andreazi Falda¹, Juliano Moro Gabardo², Andrea Gomes Bernardes², Evandro Pires Cardias¹, Priscila Chierotti², Leandro Ricardo Altimari², Cosme Franklim Buzzachera¹

¹Universidade Norte do Paraná, UNOPAR, Londrina, PR; ²Universidade Estadual de Londrina, UEL, Londrina, PR

E-mail: vanessa_dss92@hotmail.com

Introdução:

Tradicionalmente, o sistema respiratório foi considerado irrelevante na determinação da capacidade para realizar exercício físico em humanos. Entretanto, sabe-se atualmente que a fadiga da musculatura respiratória limita o desempenho físico durante exercício físico submáximo, prolongado, ou intermitente de curta duração, *all out*. Controvérsias ainda existem a respeito da presença da fadiga muscular respiratória durante exercício físico incremental, máximo, e do papel da força muscular respiratória na sua atenuação.

Objetivo:

Examinar a existência da fadiga muscular respiratório após exercício físico incremental, máximo, e sua relação com a força muscular respiratória em adultos jovens, saudáveis.

Métodos:

Participaram 9 homens, fisicamente ativos (idade média 22 ± 2 anos; estatura 178 ± 5 cm; peso corporal 80 ± 7 kg; $\dot{V}O_{2\max}$ 44 ± 4 mL.kg⁻¹.min⁻¹), aparentemente saudáveis. Usando um delineamento experimental crossover, randômico, e cego, cada participante visitou o laboratório em 4 ocasiões. Na sessão 1, realizou-se um screening médico, coleta de dados antropométricos, e familiarização. Na sessão 2, verificou-se a pressão inspiratória máxima (PIM), um indicador de força muscular respiratória. Finalmente, nas sessões 3 e 4, testes com cargas incrementais (carga inicial 20W e incrementos 20W.min⁻¹) até a exaustão foram realizados em ciclo ergômetro. Para a determinação da fadiga muscular respiratória, PMI foi mensurada antes e ~30 seg após o término do teste incremental.

Resultados:

Testes *t* pareados revelaram uma redução nas respostas de PMI após teste de exercício físico incremental, máximo (154 vs. 145 cmH₂O, ou seja, -8%; $P < 0,05$), refletindo, por conseguinte, a ocorrência de fadiga muscular respiratória. Cabe salientar, todavia, uma correlação significativa e indireta entre fadiga muscular respiratória pós esforço e força

muscular respiratória (coeficiente de correlação de Pearson $r = -0,56$, $P < 0,05$). A força muscular respiratória (158 ± 14 cmH₂O), contudo, foi significativamente correlacionada com marcadores de performance, nomeadamente, potência máxima ($W_{\max}$, 292 ± 14 cmH₂O; $r = -0,44$) e tempo até exaustão (777 ± 14 seg; $r = -0,49$) ($P < 0,05$).

Conclusão:

Os achados do presente estudo suportam a existência da fadiga muscular respiratória após teste de exercício físico incremental, máximo, em adultos jovens. Todavia, a atenuação da fadiga muscular respiratória parece estar associada com a força muscular respiratória.

Forma de Apresentação Pôster.

Congresso VII Congresso Brasileiro de Metabolismo, Nutrição e Exercício (16-19 maio 2018, Londrina, PR)

Palavras chave Respiração; Fadiga Periférica; Exercício Físico.